

Mon  
624.172  
M828  
2012



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**TEMA MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL:**

**” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (EsaI's) de la Carretera León –Poneloya”.**

**Elaborado por:**

- Br.Kenney Rodolfo Morales Almanza.
- Br.Edgard Nazarena Orozco Peralta.
- Br.Sonia Vanessa Campos Moreira.

**Tutor:**

- Ing. Cristian Alexander Gutiérrez Martínez.

**Asesor:**

- Ing. German Ahmed Cruz Ramírez.

Managua, Nicaragua

29 de Octubre de 2012

# "Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION  
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.0109  
Managua, abril 16 del 2012

Bachilleres  
EDGARD NAZARENA OROZCO PERALTA  
KENNEY RODOLFO MORALES ALMANZA  
SONIA VANESSA CAMPOS MOREIRA  
Presente

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema Monográfico titulado **"Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Calculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya"**, ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, de que el Ing. **CRISTIAN ALEXANDER GUTIERREZ MARTINEZ**, sea el tutor de su trabajo final, y como asesor al Ing. **GERMAN AHMED CRUZ RAMIREZ**.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el 31 de octubre del 2012

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,



CC: Protocolo  
Tutor  
Archivo\*Consecutivo  
DIOGS\*mary

# **"Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".**

---

25 de Octubre del año 2012

**DOCTOR OSCAR GUTIÉRREZ SOMARRIBA**

Decano de la FTC-UNI-RUPAP

Su Despacho

**Estimado Doctor Gutiérrez**

En relación a la Tesis Monográfica" **Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya"**. Realizado por los Bachilleres; Kenney Rodolfo Morales Almanza, Edgard Nazarena Orozco Peralta y Sonia Vanessa Campos Moreira, requisito para optar al título de Ingeniero Civil de esta prestigiosa Alma Mater.

Por lo antes expuesto, le manifiesto que los bachilleres antes señalados, se encuentran preparados para la realización de la defensa, en el que dicha tesis monográfica ya fue revisada por El Suscrito.

Sin nada más que agregar, me despido expresándole mi mayor muestra de estima y consideración.

**CRISTIAN ALEXANDER GUTIÉRREZ MARTÍNEZ.**

Ministerio de Transporte e Infraestructura

Gerente de Proyectos

Tutor de Tesis Monográfica



# "Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esa's) de la Carretera León –Poneloya".



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN  
SECRETARIA

## CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Construcción hace constar que el (a) **BR: SONIA VANESSA CAMPOS MOREIRA** Carné No.: **2007-21379** turno diurno de conformidad con el Reglamento de Régimen Académico Vigente en la Universidad es **EGRESADA** de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO** a solicitud de la parte interesada en la Ciudad de Managua, a los 21 días del mes de junio del año dos mil doce.



**DR. ING. ALVARO AGUILAR VELASQUEZ.**  
Secretario de Facultad

CC: Archivo

DAAV/\*Ilsa\*

Managua, Nicaragua. Tel. (505) 22496435, Apdo. 5595. Recinto Universitario "Pedro Arauz Palacios"

# "Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León -Poneloya".




UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN  
SECRETARIA

## CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Construcción hace constar que el (a) **BR: KENNEY RODOLFO MORALES ALMANZA** Carné No.: **2007-22183** turno diurno de conformidad con el Reglamento de Régimen Académico Vigente en la Universidad es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO** a solicitud de la parte interesada en la Ciudad de Managua, a los 07 días del mes de junio del año dos mil doce.



  
**DR. ING. ALVARO AGUILAR VELASQUEZ.**  
Secretario de Facultad

CC: Archivo

DAAV/\*Ilsa\*

Managua, Nicaragua. Tel. (505) 22496435, Apdo. 5595. Recinto Universitario "Pedro Arauz Palacios"

# "Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León -Poneloya".




UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN  
SECRETARIA

## CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Construcción hace constar que el (a) **BR: EDGARD NAZARENA OROZCO PERALTA** Carné No.: **2007-21667** turno diurno de conformidad con el Reglamento de Régimen Académico Vigente en la Universidad es **EGRESADA** de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO** a solicitud de la parte interesada en la Ciudad de Managua, a los 29 días del mes de Febrero del año dos mil doce.

  
DR. ING. ALVARO AGUILAR VELASQUEZ.  
Secretario de Facultad



CC: Archivo  
DAAV/\*Ilsa\*

## "Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

---

### *Dedicatoria*

*Dedicamos este trabajo monográfico a Dios nuestro padre celestial que a través de su Santo Espíritu nos obsequia sabiduría, inteligencia y entendimiento para realizar exitosamente la culminación de este gran propósito.*

*A nuestras familias por servir de medio como un terreno fértil donde nosotros como buenas semillas germinamos, crecemos y damos nuestro fruto a su debido tiempo.*

*A nuestros Maestros y a nuestros amigos con los cuales vivimos ideales compartidos y también a aquellos que en algún instante mostraron su luz sin saberlo.*

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### *Agradecimiento*

*Agradecemos primeramente a Dios por habernos iluminado y mostrarnos el camino hacia el cumplimiento de nuestras metas y por darnos la oportunidad de haber caducado exitosamente el plan de estudio universitario.*

*A nuestras familias por habernos brindado su apoyo incondicional a lo largo de nuestra carrera.*

*A los ingenieros Cristian Gutiérrez y German Cruz, por su dedicación como tutor y asesor respectivamente, facilitando la asesoría técnica necesaria para poder lograr la terminación del documento monográfico.*

*Al Ministerio de Transporte e Infraestructura por habernos brindado su ayuda técnica y material para la obtención de los dato de campos.*



# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

## RESUMEN EJECUTIVO

Desde un punto de vista mecánico, la carga aplicada a los pavimentos está directamente relacionada con el peso y las dimensiones de los vehículos que transitan sobre éstos. Mayores niveles de carga conducen a una mayor probabilidad de daños en carreteras, con la consecuente disminución de la capacidad de carga estructural. Además de lo anterior, el incremento en carga lleva consigo un efecto considerable en el comportamiento dinámico del vehículo que repercuten sobre su estabilidad.

Debido a la creciente necesidad de movimiento de productos de un lugar a otro, se ha demandado cada vez una mayor capacidad de carga de los vehículos pesados. La importancia de establecer y controlar su peso se deriva, entre otros aspectos, del efecto que éste tiene sobre el deterioro de los pavimentos y los niveles de seguridad de las carreteras. Aunque en Nicaragua se cuenta con reglamentos que regulan el peso de los vehículos de autotransporte, su aplicación requiere determinar el peso bruto combinado del vehículo y su distribución sobre los ejes, bajo condiciones de operación normales. Sin embargo, en la actualidad la determinación del peso se lleva a cabo colocando el vehículo y manteniéndolo inmóvil sobre la plataforma de una báscula.

En este trabajo se realizó un muestreo de peso utilizando una báscula en el tramo León- Poneloya con lo cual se determinaron los Ejes Equivalente de Carga y con este determinar el Número Estructural requerido de acuerdo a las solicitudes del tránsito realizando un aforo de 7 días por 12 horas.

Se realizó un estudio de campo durante 7 días consecutivos en el cual se hizo un aforo manual para determinar su tráfico real. Con la ayuda de Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) se pudo realizar el pesaje por medio de una báscula móvil por un periodo de 5 días consecutivos.

El objetivo fundamental de este estudio es:

1. Verificar el comportamiento de vehículos de carga pesada.
2. Conocer el Tráfico real de la Carretera en Estudio.
3. Determinar la capacidad estructural de la carretera en función del tráfico y de la carga expresada en ejes equivalentes para el periodo para el cual fue diseñada.

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>19</b>
<b>1.4 OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
• OBJETIVO GENERAL.....	20
• OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
<b>1.5 ALCANCE DE EL ESTUDIO.....</b>	<b>21</b>
<b>1.6 LIMITACIONES DE ESTUDIO.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPITULO 2</b>	
<b>2.1 MARCO TEORICO.....</b>	<b>23</b>
• 2.1.1 CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS.....	23
• 2.1.2 CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE LAS CARRETERAS.....	24
<b>2.2 AFORO.....</b>	<b>29</b>
• 2.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL TRAFICO.....	30
• 2.2.2 VOLUMENES DE TRANSITO.....	30
• 2.2.3 CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES POR CATEGORIAS .....	31
<b>2.3 PESAJE (BASCULA MOVIL).....</b>	<b>33</b>
<b>2.4 FACTORES EQUIVALENTES DE CARGAS.....</b>	<b>34</b>
• 2.4.1 PRINCIPALES VARIABLES DE LOS FEC.....	36
• 2.4.2 FACTOR EQUIVALENTE DE CARGA (VALOR NUMÉRICO).....	41
<b>2.5 EJES EQUIVALENTES DE CARGA (ESAL).....</b>	<b>43</b>
<b>2.6 NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).....</b>	<b>44</b>
<b>CAPITULO 3</b>	
<b>3.1 DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>48</b>
<b>3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>48</b>

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

---

<b>3.3 ÁREA EN ESTUDIO.....</b>	<b>48</b>
• 3.3.1 ZONA DE INFLUENCIA.....	49
<b>CAPITULO 4</b>	
<b>4.1 ESTIMACIÓN DE LOS FACTORES EQUIVALENTES DE CARGAS.....</b>	<b>51</b>
• 4.1.1 PESOS POR EJES.....	51
• 4.1.2 TIPOS DE PAVIMENTOS.....	51
• 4.1.3 NÚMERO ESTRUCTURA.....	51
• 4.1.4 PÉRDIDA DE SERVICIABILIDAD.....	52
<b>4.2 EXPANSIÓN DEL TRÁFICO A TPDA.....</b>	<b>79</b>
<b>4.3 CÁLCULO DE LA TASA DE CRECIMIENTO.....</b>	<b>84</b>
• 4.3.1 ANÁLISIS DE PROYECCIÓN DE TRÁFICO.....	84
<b>4.4 DETERMINACIÓN DE LOS EJES EQUIVALENTES DE CARGAS.....</b>	<b>89</b>
• 4.4.1 PROYECCIÓN DE LOS EJES EQUIVALENTES DE CARGA.....	91
• 4.4.2 COMPARACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA LEÓN-PONELOYA vs EL NÚMERO ESTRUCTURAL DEL TRAMO MATEARE-IZAPA.....	94
• 4.4.3 CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA LEÓN-PONELOYA EN FUNCIÓN DEL ESAL CALCULADO CON DATOS DEL ESTUDIO.....	95
<b>4.5 CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE CAPA.....</b>	<b>97</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>101</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICA 1 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA PARA LOS BUSES .....	68
GRÁFICA 2 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA PARA LOS VEHÍCULOS C2 .....	70
GRÁFICA 3 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA ACUMULADA PARA LOS 17VEHÍCULOS C2 AFORADOS CON RELACIÓN AL PESO TOTAL DE CADA VEHÍCULO. ....	74
GRÁFICA 4 FACTOR CAMIÓN PARA VEHÍCULO TIPO CAMIÓN C2 DE LA BÁSCULA MÓVIL, DEL 22 AL 26 DE FEBRERO DE 2012. ....	75
GRÁFICA 5 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA ACUMULADA PARA LOS 45 BUSES AFORADOS CON RELACIÓN AL PESO TOTAL DE CADA VEHÍCULO. ....	76
GRÁFICA 6 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA ACUMULADA PARA LOS 45 BUSES AFORADOS CON RELACIÓN AL FC DE CADA VEHÍCULO.....	77
GRÁFICA 7 VOLÚMENES TOTALES DE TRÁFICO (TPDA) PARA CADA AÑO DE ANÁLISIS CON TASA DEL 8% DE CRECIMIENTO ANUAL. ....	85
GRÁFICA 8 VOLÚMENES TOTALES DE TRÁFICO (TPDA) PARA CADA AÑO DE ANÁLISIS CON TASA DEL 5% DE CRECIMIENTO ANUAL. ....	86
GRÁFICA 9 VOLÚMENES TOTALES DE TRÁFICO (TPDA) PARA CADA AÑO DE ANÁLISIS CON TASA DEL 5% Y 8% DE CRECIMIENTO ANUAL.....	86
GRÁFICA 10 RESUMEN DE AFORO .....	B
GRÁFICA 11 VARIACIÓN DEL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA CAPA SUB BASE.....	U
GRÁFICA 12 VARIACIÓN DEL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA BASE .....	V
GRÁFICA 13 COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA EL MODULO ELÁSTICO DEL CONCRETO ASFALTICO.....	W

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

## ÍNDICE DE TABLA

TABLA 1 PESO PERMITIDOS POR TIPO DE VEHÍCULO .....	15
TABLA 2 MATRIZ DE CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE LAS CARRETERAS. ....	28
TABLA 3 ESTACIONES DE MAYOR COBERTURA.....	32
TABLA 4 COBERTURA DE LA RED VIAL NACIONAL .....	49
TABLA 5 CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL – CONCRETO ASFÁLTICO.....	52
TABLA 6 CÁLCULOS DE LOS FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA POR TIPO DE VEHÍCULO.....	63
TABLA 7 CARGA DE LOS VEHÍCULOS TIPO BUS.....	69
TABLA 8 PESOS TOTALES DE LOS VEHÍCULOS LIVIANOS DE CARGA .....	69
TABLA 9 PESOS TOTALES DE LOS VEHÍCULOS C2 .....	71
TABLA 10 PESOS TOTALES DE LOS VEHÍCULOS T3-S2 .....	71
TABLA 11 MUESTRA VEHICULAR PESADA EN LA BÁSCULA MÓVIL.....	73
TABLA 12 FACTOR CAMIÓN CORRESPONDIENTE A LA BASCULA FIJA DE MATEARE.....	78
TABLA 13 PORCENTAJE TOTAL CORRESPONDIENTE A LOS VEHÍCULOS T3-S2 Y LIVIANO DE CARGA.....	79
TABLA 14 FACTOR CAMIÓN CORRESPONDIENTE A LOS VEHÍCULOS T3-S2 Y LIVIANOS DE CARGA .....	79
TABLA 15 PORCENTAJE VEHICULAR EN LAS ESTACIONES DE MAYOR COBERTURA .....	80
TABLA 16 DEPENDENCIA DE ESTACIONES.....	81
TABLA 17 EXPANSIÓN DE TRÁFICO A TPDA.....	83
TABLA 18 VOLÚMENES DE TRÁFICO (TPDA) PARA CADA AÑO DEL PERIODO DE ANÁLISIS.(CRM) .....	88
TABLA 19 VOLÚMENES DE TRÁFICO (TPDA) PARA CADA AÑO DEL PERIODO DE ANÁLISIS,.....	89
TABLA 20 CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES DE CARGA .....	90

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

TABLA 21 FACTORES CAMIÓN EMPLEADOS EN EL CÁLCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES. ....	91
TABLA 22 PROYECCIONES DE LOS EJES EQUIVALENTES PARA EL PERIODO DE DISEÑO (CRM) .....	92
TABLA 23 PROYECCIONES DE LOS EJES EQUIVALENTES PARA EL PERIODO DE DISEÑO. ....	93
TABLA 24 COMPARACIÓN DEL ESAL DE LA CUENTA RETO EL MILENIO Y ESAL ESTUDIO .....	94
TABLA 25 COMPARACIÓN DEL SN DE LA CARRETERA LEÓN-PONELOYA VS. SN DE LA CARRETERA MATEARE-IZAPA. ....	95
TABLA 26 CÁLCULO DEL SN EN FUNCIÓN DEL ESAL CALCULADO. ....	96
TABLA 27 COEFICIENTES ESTRUCTURALES CORRESPONDIENTES PARA CADA CAPA DEL PAQUETE ESTRUCTURAL. ....	97
TABLA 28 VALORES DE LOS COEFICIENTES DE DRENABILIDAD.....	98
TABLA 29 CALCULO DEL SN Y ESPESORES DE CAPA.....	98
TABLA 30 DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES (MTI).....	Q
TABLA 31 FACTORES EQUIVALENTES PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES, EJE SIMPLE, PT= 2.....	R
TABLA 32 FACTORES EQUIVALENTES PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES, EJE TÁNDEM, PT= 2 .....	S
TABLA 33 FACTORES EQUIVALENTES PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES, EJE TRIDEM, PT= 2 .....	T



# Capítulo 1

- INTRODUCCIÓN.
- ANTECEDENTES.
- JUSTIFICACIÓN.
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.
- OBJETIVOS.
- ALCANCES DE ESTUDIO.
- LIMITACIONES DE ESTUDIO.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esa's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### INTRODUCCIÓN.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura y la dirección General de Vialidad a través de la Dirección de Conservación Vial, en su interés de proteger y conservar la infraestructura de las carreteras, ha fortalecido el control de pesos y dimensiones a que estas son sometidas, aumentando los puntos de control en nueve estaciones de pesaje a nivel nacional.

Las basculas son dirigidas por el Departamento de Pesos y Dimensiones, responsable de que estas verifiquen, controlen, reporten e infraccionen a los vehículos de carga de conformidad a la Ley General de Transporte Terrestre y al Diagrama de Cargas vigente.

**Tabla 1 Peso permitidos por tipo de vehículo**

<b>Tipo</b>	<b>TONELADAS</b>
<b>C-2</b>	15
<b>C-3</b>	21.5
<b>C-4</b>	25
<b>T2-S1</b>	23
<b>T2-S2</b>	30
<b>T2-S3</b>	34
<b>T3-S1</b>	30
<b>T3-S2</b>	37
<b>T3-S3</b>	41
<b>C2-R2</b>	21.5
<b>C3-R2</b>	29
<b>C3-R3</b>	35

Fuente: Anuario Estadístico (MTI).



## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

---

Para el control y regulación de la carga transportada, el Ministerio de Transporte e Infraestructura a través de las estaciones de pesaje, se basan en la Ley General de Transporte Terrestre y sus Reformas, en la que se establecen claramente los pesos y dimensiones a través del diagrama de cargas permisibles.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) realiza grandes esfuerzos para mejorar el sistema de pesos y dimensiones, automatizándolo y actualizándolo de tal forma que contribuya a brindar información más rápida, que permita tomar decisiones oportunas que contribuyen a garantizar la vida útil de las carreteras.

Por eso se resalta, que el objetivo principal del control de vehículos de carga, esta ligado al no deterioro de las vías y que la labor realizada en las estaciones de pesaje contribuya a que se cumpla con el diagrama de cargas permisibles establecidas en la Ley General de Transporte Terrestre y sus Reformas.

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

## 1.1 ANTECEDENTES.

Para 1989, el sistema de pesos y dimensiones en Nicaragua no se reactivó a su totalidad, debido a que se habían instalado las básculas fijas en las principales carreteras. Asimismo no existía una uniformidad en las aplicaciones de las multas a nivel nacional, y los diagramas de cargas no se ajustaban a los vehículos de cargas existentes.

Esto no significaba que para esta década e inicio de los noventa, no se contaba con valores acertados por la falta de control; sin embargo, ya se estaban tomando las medidas necesarias con la elaboración y distribución del Manual de Operaciones de Básculas y el Reglamento de Pesos y Dimensiones, reajustándose y adecuándose al aumento de la capacidad de cargas en los vehículos pesados.

El actual sistema operativo de control de los vehículos de transporte terrestre de carga por camión, reinició sus operaciones desde el año de 1991, con un total de siete básculas estacionarias y una báscula móvil

La oficina de Estadística de la Dirección General de Planificación con la colaboración del Departamento de Ingeniería de Tráfico de la Dirección General de Viabilidad, en julio de 2002 elaboró un informe denominado Indicadores Estadísticos del Transporte de Carga, controlado en las básculas; el cual detalla información completa del control y regulación de siete estaciones de pesaje permanentes y brigadas de básculas móviles, los tipos y características de vehículos controlados, unidades infractoras, mal balance y exceso de carga.

En octubre de 1997, el Ministerio de Transporte e Infraestructuras (MTI) y la empresa consultora, Consultoría de Transporte (CONSULTRANS S.A), realizaron un estudio de los pesos y dimensiones vehiculares donde reflejan toda la implementación y administración del efectivo control de pesos y dimensiones de vehículos automotores y sus combinaciones.

Para el año 2009 se adquirieron 7 básculas fijas y 3 móviles marca INTERPOL, que se espera replacen las existentes para el año 2012 y se coloquen otras en lugares donde se están demandando.

Actualmente estos controles de pesos están registrados en las diferentes básculas que se encuentran instaladas en diferentes zonas del país, ayudan a definir con claridad el control al que deberán ser sujetos los diferentes vehículos de cargas, los cuales servirán de guía para la elaboración de estudios donde se necesite el control de las cargas en las carreteras, como es el caso de este tema investigativo.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### 1.2. JUSTIFICACIÓN

La mayoría de las vías en Nicaragua, han presentado muchas deficiencias con respecto a la calidad y durabilidad en un lapso de tiempo inferior a la de su vida útil, esto debido a la falta de un mantenimiento adecuado. A la vez un parámetro muy importante que está directamente ligado al deterioro de la carretera es el mal uso que se le da, la falta de control en los pesos (cargas por ejes, origen-destino, tipo de vehículo), el factor climático, entre otros, lo que ha conformado un conjunto de parámetros negativos para las vías nacionales.

Debido a que la asignación presupuestaria que el Gobierno de Nicaragua le asigna al Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) y las donaciones de los países amigos no satisfacen por completo la demanda presupuestaria para el mantenimiento de la red vial, se ha visto obligado como nación hacer diferentes estudios y controles sobre las vías para lograr un mejor desempeño de la carretera y reducir significativamente los costos de mantenimiento.

Se ha demostrado que las grandes deflexiones provocadas en las carpetas de rodamiento son producidas mayormente por el tráfico de carga pesada, lo que ha creado grandes deterioros en las mismas. Para reducir las deflexiones y por ende los daños, es de suma importancia tener un estricto control del tráfico pesado que circula en las vías para que una vez controlados, sé tenga mejor desempeño.

Con esta investigación se pretende determinar los Factores Equivalentes de Cargas que circulan en la Carretera León –Poneloya y el cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga, ya que actualmente esta carretera no cuenta con estudios de cargas proporcionales a su tráfico. En el diseño de este vial se utilizaron los datos del estudio del tramo Mateare-Empalme de Izapa, ubicado en la carretera nueva a León, el cual presenta condiciones de tráfico muy distintas a las de este tramo.

Es necesario conocer si la carretera presenta las condiciones adecuadas de diseño ya que de no ser así, se verá obligado a invertir mayores recursos en el mantenimiento, que podrá ser reducido significativamente si el tráfico pesado que circula por la vía esta cuantificado y por ende, la vida útil de la carretera podría ser la del tiempo para la cual fue diseñada.

El MTI y el FOMAV, en lo fundamental, resultan las instituciones interesadas en este estudio; al ser responsables de las acciones de diseño y mantenimiento vial en Nicaragua.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Emprender acciones de mantenimiento vial requiere partir de estudios de las redes considerando sus condiciones particulares, de materiales, clima y tráfico, fundamentalmente. El tramo León –Poneloya es una carretera de uso turístico que no fue diseñada con sus Factores Equivalentes de Cargas característicos.

En el diseño y ejecución de este vía, se tomaron como referencia los Factores Equivalentes de Cargas de la carretera Mateare- Empalme de Izapa, los cuales presentan factores muy distintos a los del tramo en estudio; ya que esta última forma parte de la carretera nueva a León, que es una carretera de uso internacional y por tanto contiene un tráfico más pesado, con diferentes tipos de vehículos que los del tramo en estudio y un TPDA mas elevado.

Este hecho hace presuponer que la carretera León-Poneloya está diseñada para una carga mayor, por lo que es de suma importancia realizar el aforo respectivo de la misma, para determinar los Factores Equivalentes de Cargas del tráfico real. Con este estudio se dispondrá de información pertinentes en su mantenimiento y permitir contar con información de referencia para futuros proyectos de carreteras similares a las del uso turístico.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### 1.4 OBJETIVOS

#### Objetivo General

- Determinar los Factores Equivalentes de Cargas y los Ejes Equivalentes de Carga (ESAL'S), para la Carretera León- Poneloya, a partir del muestreo realizado en la vía.

#### Objetivos Específicos

- Realizar el Conteo Respectivo (Aforo) de la Carretera León- Poneloya para estimar el TPDA en función de su tráfico real.
- Realizar los pesajes a cada uno de los ejes de los vehículos de cargas por medio de una báscula móvil proporcionada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura para obtener la carga total de cada vehículo y determinar su Factor Camión.
- Estimar los Factores Equivalentes de Cargas por tipo de vehículos para la carretera León-Poneloya a partir del muestreo realizado en la vía.
- Determinar los Ejes Equivalentes de Cargas (ESAL) que circula por la carretera en estudio para conocer el número de repeticiones anuales en función de su tráfico y tasa de crecimiento.
- Comparar el valor del Número Estructural de la carretera León-Poneloya con el valor del Número Estructural del tramo Mateare-Empalme de Izapa para eliminar la incertidumbre del sobrediseño de la carretera en estudio.

## **” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.**

---

### **1.5 ALCANCES DE ESTUDIO.**

El presente estudio consiste en la estimación de los Factores Equivalentes de Cargas para la carretera León-Poneloya por tipo de vehículo para el año 2012, partiendo de los reportes obtenidos de la báscula móvil de pesaje proporcionada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) en un periodo de 7 días consecutivos.

Al estimar los diferentes Factores Equivalentes de Carga (FEC), obtenemos una variable importante para el cálculo de los Ejes Equivalente de Cargas (Esal’s) que se obtendrán por medio de las tablas de la AASHTO- 93, para determinar la capacidad estructural.

Otro alcance de este trabajo, es la elaboración del Aforo de la carretera en estudio, ya que actualmente dicha carretera no cuenta con su aforo proporcional a su tráfico real y a través del mismo, obtendremos el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) del tramo en estudio. Según se detalla en la metodología se realiza en un periodo de 7 días consecutivos durante 12 horas iniciando a las 6 am a 6 pm, de tal forma que logre captar todo el tráfico de las horas picos.

Se estimo los Ejes Equivalentes de Carga (ESAL), por medio de la báscula móvil proporcionada por el MTI para determinar la carga al que se encuentra sometido la estructura del pavimento.

### **1.6 LIMITACIONES DE ESTUDIO.**

Debido a que la Unidad de Pesos y Dimensiones del MTI no presenta datos sobre los pesos de los vehículos de carga que circulan sobre el tramo en estudio, se realizo el pesaje al pie de una báscula móvil proporcionada por este ministerio.

Otro aspecto importante fue, que no se contaba con datos actualizados sobre su tráfico y las cargas vehiculares. Los últimos registros datan desde el año 2010, por lo que se procedió a realizar el aforo en la estación 19+200 con el propósito de captar el tráfico vehicular que recorre el tramo en el 2012.

Asimismo se utilizó los factores de expansión del MTI de la estación ubicada en el tramo de Carretera San Marcos – Masatepe por ser esta una vía con características similares respecto al tráfico y tipo de carga al del tramo León – Poneloya.

En el desarrollo de este tema monográfico es importante señalar como limitación que los conteos de transito vehicular y pesaje se realizaron en un periodo de 12 horas y por 7 días en una oportunidad durante el año.



## Capítulo 2

- MARCO TEORICO.
- AFORO (CARACTERIZACION DEL TRANSITO).
- PESAJE (BASCULA MOVIL).
- FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA FEC (METODOLOGIA DE LA AASHTO 93).
- EJES EQUIVALENTES DE CARGA (ESAL´S).
- NÚMERO ESTRUCTURAL.

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

## 2.1 MARCO TEÓRICO.

Se denomina carretera a un amplio camino de uso público, con una superficie de pavimento flexible o pavimento rígido, que tiene por objetivo la circulación vehicular, manteniendo siempre la interacción entre el vehículo y el peatón, su clasificación depende del nivel de importancia, que a su vez se distingue del volumen vehicular.

### 2.1.1 Clasificación de Pavimentos.

Los pavimentos pueden clasificarse en Rígidos y Flexibles, en Nicaragua se cuenta con los dos tipos de pavimentos. La diferencia se presenta ya que las cargas que transmiten a la fundación se comportan de manera distinta.

En las siguientes imágenes se detalla el comportamiento de las cargas por tipo de pavimento:

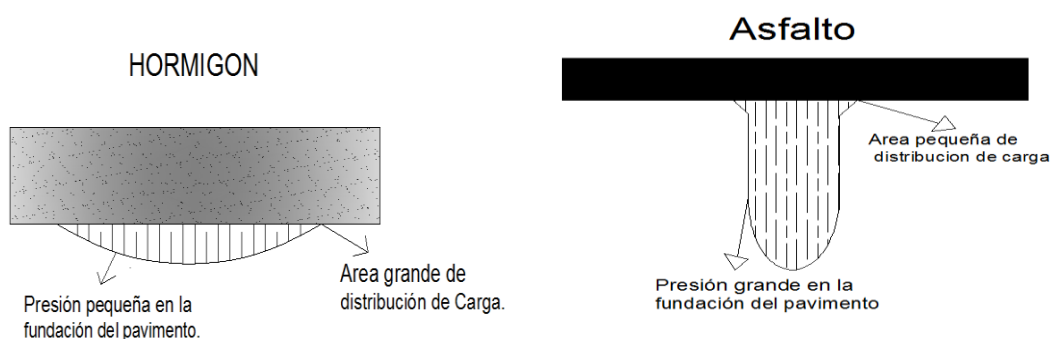


Figura 2.1 Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos.

Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO-93)

En un pavimento rígido, debido a la rigidez de la losa de hormigón se produce una buena distribución de las cargas de las ruedas de los vehículos, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. En un pavimento flexible, el concreto asfáltico, al tener menor rigidez, se deforma y transmite tensiones mayores en la subrasante.

El procedimiento de cálculo de los Factores Equivalentes de Cargas es el mismo para pavimentos rígidos y flexibles, sin embargo ambos pavimentos tienen diferentes tablas para determinar los FEC y están en función de:

- El número estructural en pavimento flexible
- El espesor de la losa en pavimento rígidos
- El valor del índice de Serviciabilidad asumido para el diseño



## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### 2.1.2 Clasificación Funcional de las Carreteras<sup>1</sup>:

El sistema vial en Nicaragua ha ocupado un lugar muy importante en la economía nacional. En la década de los años 50 y 60 no había el interés de clasificar el sistema vial de acuerdo a su funcionalidad, bastaba con clasificarla como pavimentada y no pavimentada.

Las carreteras se clasifican de acuerdo con sus funciones respectivas y de acuerdo de la naturaleza del servicio que suministran. Este sistema de clasificación facilita el desarrollo sistemático de las carreteras y la asignación lógica de las responsabilidades de la misma. Por lo tanto, puede definirse como un sistema que basa sus teorías en dos funciones de servicio básico; accesibilidad y movilidad.

La clasificación funcional, actualmente utilizado, es la establecida en el año 1975 que establece el concepto básico de nivel de servicio brindado por las facilidades que va exigiendo cada vez el creciente movimiento de tráfico.

#### Por su Funcionalidad:

Elaborada por la firma consultora Wilbur Smith Asociados y Cisneros y Conrado en 1975. Es la clasificación que mejor se adecua a las condiciones reales del sistema vial nacional, las cuales son las siguientes:

Troncal Principal: Es una red de rutas continuas con las siguientes características

- Sirve a desplazamiento de grandes longitudes de viajes como el tránsito interdepartamental o interregional cuyo índice de viajes son elevados.
- Forman parte de la red vial Centroamericana.
- Troncal principal  $\equiv$  Panamericana/ Centroamericana.
- Sirven a grandes volúmenes de tránsito cuyo TPDA es mayor a los 1000 vehículos.
- Forman una red integrada sin conexiones fragmentadas, excepto cuando condiciones geográficas o de flujo de tráfico lo indiquen, tales como conexiones a ciudades costeras como Corinto.
- Conectan cabeceras departamentales o centros urbanos con más de 5,000 habitantes.

El sistema Troncal Principal tiene dos niveles de servicio:

- a) Las obras de acceso controlado que limitan el ingreso y egreso a ciertos puntos fijos.
- b) Otras rutas troncales importantes con características de diseño similares pero sin control de acceso.

---

<sup>1</sup> Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos/SIECA.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

Se requiere además de un ancho de derecho de vía de 50 metros incluye 5 metros a cada lado del eje o la línea media de la misma, con el propósito de colocar rótulos de información gubernamental.

Troncal secundario: Se caracteriza por

- Conectar cabeceras departamentales o centros económicos importantes, generadores de tráfico, tales como áreas turísticas capaces de atraer viajes de mayor distancia.
- Troncal Secundario  $\equiv$  Nacional Primaria.
- Sirven a un volumen considerable de viajes Inter- departamental.
- El volumen de tránsito atendido es de mayor a 500 vehículos por día.

Colectora Principal.

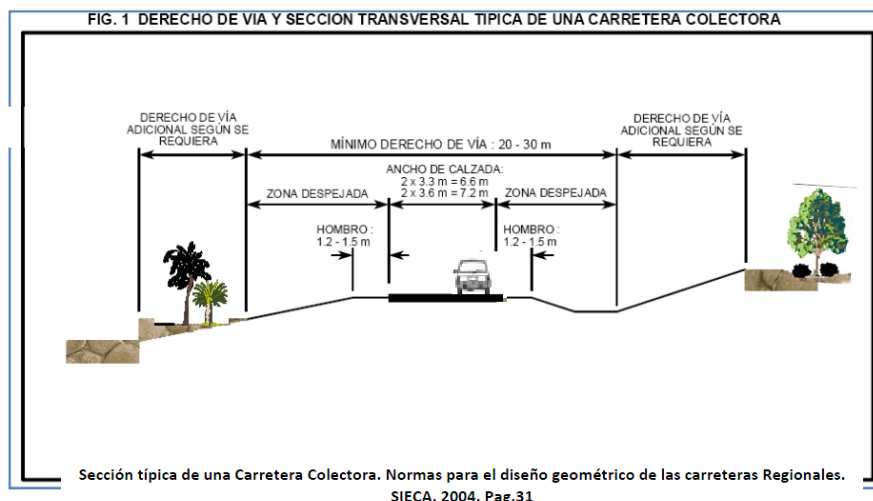
- Comunica uno o más cabeceras municipales con una población superior a los 10,000 habitantes.
- Colectora principal  $\equiv$  Nacional Secundario
- Comunican centros nacionales no atendidos por la red troncal
- Se usan como conexión entre dos caminos troncales secundarios.
- El flujo de tráfico es mayor a 250 vehículos por día.
- Se requiere un ancho de derecho de vía de 50 m, incluye 5 m a cada lado del eje o la línea media de la misma con el propósito de colocar rótulos con información gubernamental.

Colectora Secundaria.

- Suministra conexiones a una categoría superior de comunicación para centros urbanos y generadores de tráficos menores.
- Colectora Secundaria  $\equiv$  Nacional Terciaria.
- Son caminos de alta importancia municipal, con poblaciones servidas mayores de 5,000 habitantes.
- El flujo de tráfico atendido es mayor a 250 vehículos/ día.
- Se requiere un ancho de derecho de vía de 30 metros, incluye 5 mt a cada lado del eje o la línea media de la misma con el propósito de colocar rótulos con información gubernamental.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

El siguiente gráfico muestra las características generales de una carretera colectora según las normas del SIECA:



Fuente: SIECA 2004

Caminos vecinales.

Su principal función además de brindar acceso a propiedades adyacentes, es proporcionar acceso a zonas remotas del país que carecen de facilidades de transporte y canalizar la producción agropecuaria desde la fuente hasta los centros de consumo y exportación con conjunto con carreteras a nivel superior. Estos caminos también se conocen como:

- Caminos vecinales ≡ Municipales
- Generalmente la zona que conectan tienen menos de 100 habitantes; volúmenes de tránsito menor a 50 vehículos por día.
- Se requiere un ancho de derecho de vía de 30 metros, incluye 5 mts a cada lado del eje o la línea media de la misma con el propósito de colocar rótulos con información gubernamental.

Para el año 2010 los datos globales reflejan un total 22,111.052 km de carretera de los cuales 2,814.208 km (13%) son pavimentado (adoquinado, asfaltado y concreto hidráulico) y 19,296.844 km (87%) corresponde a no pavimentado. Puede observarse con respecto al año 2009, que la red pavimentada aumento en un 1.185% (262 km) y la red no pavimentada se redujo a un 0.57% (126.024 km).

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

La carretera León-Poneloya consta de las siguientes características:

- ✓ Clasificación funcional Colectora Principal: Este tipo de carreteras generalmente sirven al tránsito con recorridos de menores distancias relativas que se mueven entre ciudades pueblos y villas sirven así mismo como alimentador de las arterias troncales y de las colectoras suburbanas. Sus Volúmenes de tránsito para diseño se ubican entre los 10,000 y 500 vpd. (Referencia). Normas para el diseño Geométrico de las Carreteras Regionales el tramo León Poneloya
- ✓ Su superficie de Rodamiento es de Pavimento Asfáltico.
- ✓ Consta de 20 Km de Longitud, comenzando en el kilometro 94.38 y finalizando en el kilometro 114.38.
- ✓ Tipo de terreno es Plano.

” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

**Tabla 2 Matriz de criterios para la clasificación funcional de las Carreteras.**

Ítem	Criterios	I	II	III	IV	V	VI
		Troncales		Colectoras		Vecinales	Trochas y Veredas
		Principales	Secundarios	Principales	Secundarios		
A	Importancia en la red vial a nivel de la región Centroamericana.	1) Parte de la red vial Centroamericana.					
B	Importancia en la red vial a nivel nacional de Nicaragua.	2) Conecta Cabeceras departamentales o centros urbanos con más de 50 mil habitantes.	1) Conecta centros cabeceras departamentales (o centros económicos importantes) 2) Dan acceso a puestos de fronteras (Teotecacintes, Puertos Morazán) 3) Se usan como conexión entre dos caminos principales troncales.				
C	Importancia en la red vial a nivel regional de Nicaragua			1) Conecta uno varias cabeceras departamentales con un número total de más de 10 mil habitantes a la red nacional. 2) Conectan una zona con un número total de más de 10 mil habitantes a la red nacional. 3) Se usan como conexión entre dos caminos troncales secundarios.	1) Conectan una zona o municipio a la red nacional. 2) Conectan una zona o un municipio con más de 5 mil habitantes a la red vial		
D	Importancia en la red vial a nivel municipal de Nicaragua				1) Caminos de alta importancia para la municipalidad	1) Incluido en el actual inventario vial y que no cumple con ningún de los otros criterios anteriores.	1) No incluido en actual inventario vial.
E	Flujo de trafico TPDA	Mayor de 1000 Veh./ día	Promedio 500 Veh./día	Promedio 250 Veh./día	Mayor de 50 Veh./día	Menor de 50 veh/ día	

**Fuente: Sistema de Administración de Pavimentos, MT**

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### 2.2 AFORO

El principal objetivo del estudio es cuantificar los volúmenes que serán atraídos y generados como resultado de su rehabilitación y mejora, determinar los Niveles de Servicio en que opera esta carretera durante su vida útil

**Para realizar el conteo de los vehículos, se debe seguir el siguiente procedimiento:**

1. Familiarizar al personal con su tarea asignada: Determinar claramente cuál es la clase de vehículo que debe contar, y cuáles vehículos se incluyen en ésta. Todo vehículo debe ser incluido en el conteo.
2. Escoger un punto de referencia en la sección de la avenida seleccionada: Se cuenta cada vehículo al pasar por este punto de referencia. El uso del mismo punto de referencia para todas las clases de vehículos, hace que los conteos por duplicado sean más exactos y eventos como vehículos detenidos no afecten el conteo.
3. Realizar una pequeña prueba: Esto con el objetivo de familiarizar al personal con el trabajo que debe realizar, y de solucionar dudas o preguntas que puedan surgir.
4. La toma de datos se realiza en el formato que se muestra en el anexo
5. Repetir el conteo: Cada conteo se realiza por duplicado y por personas diferentes.

#### **Aforo Manual**

Se usan por lo general para contabilizar volúmenes de giro y volúmenes clasificados. La duración de aforo varia con el propósito del aforo .Algunos aforos clasificados pueden durar hasta 24horas.

El equipo usado es variado desde hojas de papel marcando cada vehículo hasta contadores electrónicos con teclado. Ambos son manuales.

Durante periodos de transito alto es necesario más de una persona para efectuar los aforos. La exactitud y confiabilidad de los aforos dependen del tipo y cantidad de personal, instrucciones, supervisión y la cantidad de información a ser obtenida por cada persona.

#### **Procedimiento:**

- ✓ El conteo se realizo durante 7 días consecutivos de 6am-pm,
- ✓ El equipo que utilizado fue de hojas de papel marcando cada tipo de vehículo.
- ✓ Se contabilizo individualmente los vehículos en ambos sentidos (León– Peñitas Poneloya ) (Las peñitas – León)

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

- 7 AM – 9 AM ( Intervalo que coincide con hora pico)
- 10 AM – 12 M (intervalo que no coincide con hora pico)

**La variable que se determinaron a partir del conteo vehicular son:**

1. Número de vehículos (diferenciados por clases) que cruzan un punto de referencia especial, tomando como punto de referencia temporal 1 minuto.
2. Las clases de vehículos a considerar son:
  - ✓ Automóvil (automóviles particulares, taxis, campero, van)
  - ✓ Bus, busetas, colectivos y buses de turismo
  - ✓ Camiones (camiones, furgones grandes, gras, carros mezcladores)

### **2.2.1 Caracterización del Tránsito.**

Una de las variables a tomar en cuenta para el diseño de pavimentos es el del factor tránsito, ya que está directamente ligado al buen funcionamiento y capacidad de la estructura del pavimento.

Dentro de las consideraciones que deben tomarse en cuenta es necesario analizar la problemática que representa el comportamiento del pavimento debido al tránsito, ya que el incremento del mismo está ligado al desarrollo tecnológico, el crecimiento demográfico, así como al crecimiento económico, generando esto un aumento indiscriminado del flujo del transporte.

En Nicaragua el método más utilizado para el diseño de pavimentos es el de la guía AASHTO, edición 1993, lo cual contempla el diseño para pavimentos rígidos y flexibles, cabe destacar que a nivel centroamericano se utiliza el manual de la SIECA, el cual retoma la metodología de la AASHTO -93, dicho manual contempla las diferentes ecuaciones y variables para calcular los factores equivalentes de cargas por tipo de vehículo y el ESAL, ambos parámetros están en función del volumen del tráfico al que es sometido.

### **2.2.2 Volúmenes de Tránsito.**

Las estadísticas del tráfico vehicular existentes son recopiladas por el Sistema de Administración de Pavimentos (PMS) del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), a través de los Aforos realizados a lo largo de la red vial.

Estos aforos se realizan cada año de forma manual, en lapsos de siete días durante 24 horas diarias para las Estaciones Permanentes y durante tres días para las Estaciones de Control y Sumarias en intervalos de 12 horas diarias, en las diferentes vías que integran la red vial nacional, esto con el objetivo de:

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

- Determinar la composición y volumen de tránsito sobre la carretera en estudio.
- Determinar el número de vehículos que transitan por la zona.
- Clasificación de Caminos.
- Obtención de datos para la planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos.
- Proyección de sistemas de control de tránsito.
- Estimación del tráfico futuro.

La elaboración de estos aforos es de vital importancia en el diseño de estructuras de pavimento porque es a partir de estos estudios que se determina la proyección del tráfico, el cual influye de forma directa en el ciclo de vida de la carretera, esto a partir de las consideraciones siguientes:

- La determinación de los Factores Equivalentes de Cargas usados para estimar el daño relativo provocado por los ejes de cargas de distintos vehículos.
- La exactitud de la información de los volúmenes de tráfico y pesos usados para representar las proyecciones actuales de pesos.
- La predicción del ESAL sobre el periodo de diseño.
- Los efectos que causan en el PSI a la edad de la vía y el tráfico.

$\Delta$ PSI: Pérdida o Diferencia entre los Índices de servicio inicial y final deseados de la carretera.

### 2.2.3 Clasificación de Estaciones por Categorías<sup>2</sup>.

Se realizó una clasificación de las Estaciones de Conteo en base a la tipología y función, manteniendo como referencia la ubicación actual de las estaciones, siendo la nueva nomenclatura:

a) Estaciones de Mayor Cobertura (EMC):

Son las estaciones de conteos continuos los 365 días del año con conteos clasificados de 24 horas por día.

b) Estaciones de Corta Duración (ECD):

Se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores de 300 TPDA.

c) Estación de Conteo Sumaria (ECS):

d) Son las estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA.

Tanto para las estaciones de Corta Duración y de Conteo Sumaria, se realizan conteos clasificados por 12 horas continuas por tres días consecutivos con un intervalo de un conteo a cada dos años.

---

<sup>2</sup>Anuario de Trafico 2010/MTI



## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.



En la tabla N.3 se detallan las Estaciones de Mayor Cobertura a nivel nacional:

**Tabla 3 Estaciones de Mayor Cobertura**

N°	Código NIC	N° Estación	Nombre de Tramo
1	NIC-1	101B	Zona Franca-La Garita
2	NIC-1	107	Sebaco-Emp. San Isidro
3	NIC-2	200	Entrada al INCAE- El Crucero
4	NIC-3	300	Sebaco-Quebrada Honda
5	NIC-4	401	Masaya-Granada
6	NIC-7	700	Emp. Camoapa-Tecolostote
7	NIC-12A	1205	Emp. Chichigalpa-Chinandega
8	NIC-18A	1802	San Marcos-Masatepe
9	NIC-24A	2404	Corinto-Chinandega
10	NIC-24B	2400	Chinandega-Ranchería
11	NIC-28	2803	Nagarote-La Paz Centro

Fuente: Anuario de Tráfico 2010.MTI

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### 2.3 PESAJE (BASCULA MOVIL)

Las Báscula para pesar camiones son básculas de gran capacidad de peso que se instalan en las carreteras para pesar directamente a los camiones que acceden por si llevan exceso de carga.

Para el correcto funcionamiento del pesaje de los vehículos de cargas es necesario seguir un procedimiento y conocer los dispositivos que conforman la bascula móvil que son los siguientes:

- ✓ Plataforma de pesaje.
- ✓ Paneles solares.
- ✓ Dispositivo receptor y transmisor de datos.
- ✓ Batería de respaldo de energía.

En el Tramo en estudio se ubico la Báscula Móvil en la estación 109+200 en el cual los delegados por el MTI se instalaron el día 21/02/12. Para realizar el respectivo pesaje se necesito de la ayuda de la policía de tránsito de la localidad la cual estuvo desde el día 22 de Febrero al 26 de Febrero.

El procedimiento para pesar un vehículo de carga es el siguiente:

- 1) Se ubica al Vehículo de Carga en dirección a la plataforma de pesaje
- 2) Se determina el peso de primer eje y se espera unos segundo para que el dispositivo de el peso exacto.
- 3) Se ubica el segundo eje y se espera unos segundos para que el dispositivo determine su peso exacto.

Para el buen funcionamiento de la báscula móvil, fue necesario que esta fuera operada por 3 técnicos del MTI para la correcta obtención de los pesos en cada uno de los ejes de los vehículos que conformaron la muestra que se peso. Se utilizo formatos establecidos por el MTI llamados Reportes Diarios de Estación Pesadora. De esta manera se hizo el pesaje durante 4 días en cada vehículo de carga que transito en el tramo en estudio.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esa's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### 2.4 FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA FEC (METODOLOGIA DE LA AASHTO 93)

#### Introducción.

El primer antecedente en el diseño de pavimentos según el método AASHTO Road Test que fue un ensayo realizado sobre pavimentos de determinadas características bajo diferentes cargas en Ottawa, Illinois entre 1958 y 1960.

Luego aparece la “AASHTO Interim Guide for the Design of Pavement Structures” en 1972 y luego de hacer observaciones a partir de 1983, aparece en 1986 la “AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures” con muchas modificaciones con respecto a la de 1972 ya que en esta versión se obtienen en cuenta la Confiabilidad, Módulos Resiliente de Materiales, Coeficientes de Drenaje y el Efecto de subrasante Expansivas o sujetas a Congelación y Deshielo; y finalmente en 1993 fue hecha una versión revisada de esta guía, que no ofrece cambios en lo que a diseño de pavimentos flexibles se refiere.

Para el método de diseño AASHTO 86 Y 93 la fórmula de diseño es:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log(\Delta PSI)}{0.4 + \frac{4.2 - 1.5}{1094} + \frac{2.32 \log M_R - 8.07}{(SN + 1)^{5.19}}} \quad (1)$$

Donde:

SN: Número Estructural (pulg).

$W_{18}$ : Número de cargas de 18 Kips (80KN) previstas.

$Z_R$ : Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

$S_0$ : Desvío estándar de todas las variables.

$\Delta PSI$ : Pérdida de Serviciabilidad.

$M_R$ : Módulo Resiliente de la subrasante (en psi)

En este nuevo método la modificación consiste en que el Número Estructural deja de ser un parámetro adimensional para convertirse en un parámetro con unidad de longitud, que presenta un espesor ficticio de pavimento. En unidades inglesas viene expresado en pulgadas y conserva el valor numérico obtenido mediante la expresión 1. En el sistema métrico viene expresado en milímetros y su valor es igual a SN (en pulg) multiplicado por 25.4.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

Dentro de las consideraciones que deben tomarse en cuenta en este método, tenemos:

- Rendimiento del Pavimento.
- Tráfico (TPDA).
- Tierra de Explanación.
- Materiales de Construcción.
- Ambiente.
- Drenaje.
- Rehabilitación de Pavimentos.
- Ciclo de Vida del Proyecto.
- Diseño.

A pesar de todas estas consideraciones que la guía toma en cuenta, hay factores que se toman a decisión del diseñador; tales como: Las Variaciones Estacionales, Las Evaluaciones del Tráfico de Diseño y el Número Estructural.

Los pavimentos se proyectan para que resistan un determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN con el nombre de ESAL (Ejes Simples Equivalentes de Cargas).

Las diferentes cargas actuantes sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo, según puede valorarse de la **Figura 2.4** Además, diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales responden de diferente manera a una misma carga. Debido a estas diferentes respuestas en el pavimento, las fallas serán distintas según la intensidad de la carga y las características del pavimento. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito es reducido a un número equivalente de ejes de una determinada carga que producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito. Esta carga tipo AASHTO es de 80 KN. La conversión se hace a través de los Factores Equivalentes de Cargas.



**Figura 2.4 Esfuerzos de tensión frecuentes en las capas de superficie.**

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

### 2.4.1 Principales Variables de los FEC

Para determinar los diferentes Factores Equivalentes de Carga por tipo de vehículo, es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

#### a) Tipo de Pavimento : Pavimento Flexible

Se denomina Pavimentos Flexibles a aquellos cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él (Figura 2.4.1). El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras o parqueo. El tramo en estudio comprende una estructura de pavimento flexible.



Figura 2.4.1 Pavimento Flexible  
Fuente: Elaboración Propia

La construcción de Pavimentos Flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. De ese modo lo que se pretende es que pueda soportar la carga total en el conjunto de capas.

Las capas de un Pavimento Flexible que conforman un suelo se colocan en orden descendente en capacidad de carga. La capa superior es la que tiene mayor capacidad de soporte. Por lo tanto la capa que menos carga puede soportar es la que se encuentra a mayor profundidad. La durabilidad de un Pavimento Flexible no debe ser inferior a 8 años y normalmente suele tener una vida útil de 20 años.

Las capas de un Pavimento Flexible suelen ser capa superficial o capa superior que es la que se encuentran en contacto con el tráfico rodado y que normalmente ha sido elaborada con varias capas asfálticas. La capa base es la capa que está debajo de la capa superficial y está, normalmente, construida a base de agregados y puede estar estabilizada o sin estabilizar. La capa sub – base es la capa o capas que se encuentra inmediatamente debajo de la capa base. En algunas ocasiones se prescinde de esa capa sub – base.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

Generalmente una estructura de Pavimento Flexible está compuesta por la Capa de Rodamiento, Base, Sub-Base y Sub-Rasante.

### **Capa de Rodamiento**

Su función primordial será la de proteger la base impermeabilizando la superficie para evitar así posibles infiltraciones de agua de lluvia que podrían saturar parcial o totalmente las capas inferiores, además evita que se desgaste o desintegre la base producto del pase de los vehículos.

Asimismo la capa de rodamiento contribuye en cierto modo a aumentar la capacidad de soporte del pavimento, especialmente si su espesor es apreciable (mayor a 3”).

### **Base**

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitirlas en forma adecuada a las capas inferiores.

El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales.

### **Sub-Base**

Es una capa de materiales pétreos, de buena graduación, construida sobre la subrasante. Esta capa, al igual que la anterior, deberá cumplir con los requisitos de compactación y de calidad a que se hace referencia para la capa subrasante.

Esta capa es la que subyace a la capa base, cuando esta es necesaria, como es el caso de los pavimentos flexibles. Normalmente, la sub-base se construye para lograr espesores menores de la capa Base, en el caso de pavimentos flexibles.

En el caso de pavimentos de concreto, en muchos casos resulta conveniente colocar una capa Sub-base cuando las especificaciones para pavimento son más exigentes.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### **Sub-Rasante**

Comprende el ancho total de la vía que constituye la fundación para el pavimento, hombrillos, (hombros) y zonas de estabilización. Sirve de soporte a la estructura y es capaz de recibir las cargas del pavimento. Se trata de los últimos centímetros (Generalmente 50 cm) del relleno o corte del movimiento de tierras. No obstante el espesor dependerá de la calidad de la sub-rasante.

Esta definición realmente es compartida en los aspectos de diseño geométricos como:

-Se refiere al plano que separa la infraestructura y superestructura del pavimento.

-En el diseño del pavimento propiamente dicho.

La sub-rasante no forma parte del pavimento, pero es una variable fundamental para su diseño.

### **Número Estructural.**

Es un número abstracto que representa la resistencia que requiere la estructura de pavimento para que soporte las combinaciones de tráfico expresadas en ejes simples de 18 Kips, la Serviciabilidad final y el ambiente. El SN requerido debe transformarse a través de cálculos en el espesor de diseño del pavimento, lo que significa que debe seleccionarse el coeficiente de capa más apropiado con respecto a la resistencia y al tipo de material a usar.

### **Serviciabilidad Final.**

La Serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios. En el diseño AASHTO, la Serviciabilidad está calificada en términos de Clasificación de Serviciabilidad Presente (PSR=Present Serviceability Rating). Para determinarla, un grupo de individuos circula sobre el pavimento y lo califica de 0 a 5, siendo 0=Muy mala y 5=Perfectas condiciones.

Los valores que se recomiendan para la Serviciabilidad por experiencia son:<sup>3</sup>

Serviciabilidad Inicial:

- $P_o=4.5$  para pavimentos rígidos.
- $P_o=4.2$  para pavimentos flexible.

Serviciabilidad Final:

- $P_t=2.5$  o más, para caminos muy importantes.
- $P_t=2.0$  para caminos de menor tránsito.

---

<sup>3</sup>Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos/SIECA.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

A la diferencia entre estos dos valores se le conoce como la pérdida de la Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI) o sea el índice de Serviciabilidad Presente (Present Serviceability Index).

### **b) Tipo de eje.**

El tránsito usuario es el que implanta las solicitaciones que deben ser soportadas por la estructura del camino .Estos suelen anexarse en categorías, siendo la más habitual la siguiente:

- Los vehículos livianos (automóviles ,camionetas )
- Buses urbanos como inter-urbanos y camiones de dos ejes
- Camiones de más de dos ejes y camiones articulados (tráiler y semitrailer etc.)

Es sustancial de entender la clasificación de los vehículos, se definen algunos conceptos como:

Eje Simple:

- Es el que está compuesto por dos ruedas, una en cada extremo del eje.



Ejes Tándem:

- Es el conjunto de dos ejes simples de ruedas dobles con una separación de centros comprendidos entre 1.00 y 2.45 metros.





## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esa's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### Ejes Tridem:

- Es el conjunto de tres ejes simples de ruedas dobles con una separación de sus centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.



Los tipos de vehículo de transporte de carga que circulan a través de la infraestructura vial, se clasifican de acuerdo a la configuración que cada uno de ellos tienen en sus ejes y a las posibles combinaciones que se realicen las cuales están restringidas por el diagrama permisible de cargas vigentes .

Los tipos de vehículos son los siguientes:

- C-2: Camión consiste en un auto motor con eje simple (eje direccional) y un eje simple de rueda doble (eje de tracción)
- C-3: Camión consiste en un auto motor con eje simple (eje direccional) y un eje doble o tandem (eje de tracción)
- C-4: Camión consiste en un auto motor con eje simple (eje direccional) y un triple (eje de tracción)
- T-2: Tractor o cabezal con un eje simple (eje direccional) y un eje simple de rueda doble (eje de tracción)
- T-3: Tractor o cabezal con un eje simple (eje direccional) y un eje doble o tandem (eje de tracción)
- T-4: Tractor o cabezal con un eje simple (eje direccional) y un eje doble o tandem (eje de tracción)
- S-1: Semirremolque con un eje trasero simple de rueda doble
- S-2: Semirremolque con eje trasero doble (tandem)
- S-3: Semirremolque con eje trasero triple
- S-4: Semirremolque con eje trasero cuádruple
- R-2: Remolque pesado o liviano compuesto de un eje delantero simple de rodado doble y un eje trasero simple de rodado doble.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

- R-3: Remolque pesado o liviano compuesto de un eje delantero simple de rodado doble y un eje trasero doble de rodado doble.
- R-4: Remolque pesado o liviano compuesto de un eje delantero doble de rodado doble y un eje trasero doble de rodado doble.

Esta diversidad en la configuración de los vehículos que circulan sobre la red vial, trae como consecuencia un amplio espectro de ejes de cargas, dado que este estudio es muy complejo, se adopta el sistema de la AASHTO ROAD TEST por ser la única fuente confiable de información para afrontar este problema.

Otro aspecto muy importante que hay que tomar en cuenta, es el crecimiento indiscriminado del tráfico, ya que conociendo la razón del crecimiento del tráfico podremos trazar los diferentes espectros de ejes de cargas que circulan en la vía, utilizando básculas de pesos permanentes y móviles para el caso de vehículos pesados. Si no se dispone de estas básculas, se utilizan las estadísticas de caminos con similares condiciones de uso y diseño.

Los vehículos de carga además de ser pesados, su peso bruto (tara) excede las 5 toneladas métricas, son en general más lentos y ocupan más espacio en la calzada motivo por el cual desde el punto de vista de diseño de pavimento y geométrico son de mayor interés que el resto de los vehículos que puedan circular con una carga inferior (motocicletas, automóviles, jeeps y camionetas), debido a que provocan un efecto mínimo sobre el pavimento.

Es fundamental hacer notar que la marca de vehículo de carga influye en la distribución del peso por eje afectando a veces los límites permitidos a nivel nacional.

### **2.4.2 Factor Equivalente de Carga (FEC) Valor Numérico.**

Expresa la relación entre la pérdida de Serviciabilidad causada por la carga de un tipo de eje de 80 KN y la producida por un eje estándar en el mismo eje.

A continuación se detalla la ecuación para obtener los diferentes Factores Equivalentes de Cargas por tipo de vehículo:

$$FEC = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} \quad (2)$$

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

---

Donde:

$W_{t18}$ : Número de Esal's de 80KN que producen una pérdida de Serviciabilidad.

$W_{tx}$ : Número de ejes de 80KN que producen la misma perdida de Serviciabilidad.

ESAL: Es el número de cargas equivalentes que definen el daño por paso, sobre una superficie de rodadura debido al eje en cuestión, en relación al paso de un eje de carga Estándar, que usualmente es de **18 Kips=18000lb**.

Se calcula mediante las siguientes expresiones:

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{t18}}\right) = 4.79 \log(18+1) - 4.79 \log(L_x + L_2) + 4.33 \log(L_2) + \frac{G_t}{B_x} - \frac{G_t}{B_{18}} \quad (3)$$

$$B_x = 0.4 + \frac{0.08(L_x + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L_2^{3.23}} \quad (4)$$

$$B_{18} = 0.4 + \frac{0.08(18+1)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19}} \quad (5)$$

La expresión  $B_x$  representa la función del diseño y de las cargas que influyen en la Serviciabilidad  $P_t$ .

$$G_t = \log\left(\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5}\right) \quad (6)$$

$$GY = \frac{(1+r)^Y - 1}{r} \quad (7)$$

Cada uno de estos términos nos ayuda a magnificar el FEC a manera de cálculo (No interpolando con las típicas tablas del Manual AASHTO), ya que a través del cálculo, obtenemos un valor más próximo para cada tipo de eje.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### 2.5 EJES EQUIVALENTES DE CARGA (ESAL'S)

Es la cantidad pronosticada de repeticiones del eje de carga equivalente de 18 Kips (80 KN) para un periodo determinado, utilizamos esta carga equivalente por efectos de cálculo ya que el transito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes.

Los Ejes Equivalentes se los denominan ESAL "Equivalent Simple Axial Load", Se calcula para el carril de diseño utilizando la siguiente ecuación:

$$ESAL = \sum_{i=1}^{i=m} FEC * TPDA * GYDL * 365 \quad (8)$$

En donde:

Pt: Índice de Serviciabilidad Final.

SN: Número Estructural (Calidad de Capa).

Lx: Carga en Kips sobre un eje Simple, Tándem y Tridem.

L2=1, 2,3 Código de Eje.

L2=1 Eje Simple.

L2=2 Eje Tándem.

L2=3 Eje Tridem.

r: Tasa de Crecimiento.

Y: Periodo de Diseño.

G: Factor de Crecimiento.

D: Factor de Distribución de Dirección.

L: Factor de Distribución por Carril.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

### 2.6 NÚMERO ESTRUCTURAL

El método AASHTO emplea el concepto de Número Estructural (SN) que representa la capacidad de un firme para soportar las solicitaciones del tráfico. Tiene unidades de longitud y se expresa en milímetros.

Con la fórmula de diseño el Número Estructural SN (Structural Number) y en función del mismo se determinan los distintos espesores de capas que forman el paquete estructural.

Variables para determinar el SN:

- El tránsito estimado por carril  $W_{18}$  a lo largo de la vida útil del pavimento.
- Serviciabilidad final.
- Módulo Resiliente efectivo.

La expresión que liga al Número Estructural con los espesores de capas:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3 \dots \quad (9)$$

Donde:

$a_1, a_2, a_3$ : Son los Coeficientes estructurales o de Capas, adimensionales.

$m_1, m_2, m_3$ : Son los Coeficientes de Drenaje.

$D_1, D_2, D_3$ : Son los Espesores de Capas, en pulgadas o mm, en este sentido, el Número Estructural llevará las unidades de los espesores de las diferentes capas del pavimento.

*Espesores mínimos en función del SN*

Se basa en el concepto de que las capas granulares no tratadas deben estar protegidas de tenciones verticales excesivas que les puedan producir deformaciones permanentes.

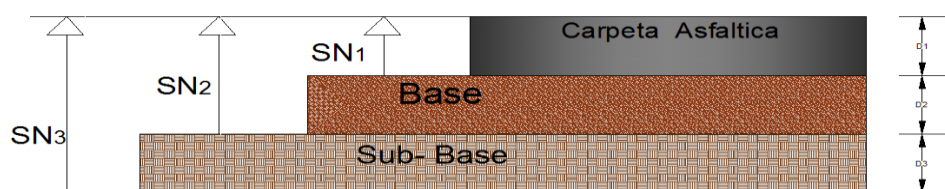


Figura 2.6 Espesores Mínimos SN  
Fuente: AASHTO 93

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

---

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1^* = a_1 D_1 > SN_1$$

$$D_2^* = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2}$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$$

Así para determinar el espesor  $D_1$  de la capa de concreto asfáltico se supone un  $M_R$  igual al de la base y así se obtiene en  $SN_1$  que debe ser absorbido por el concreto asfáltico. El espesor  $D_1$  debe ser:

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad (10)$$

Se adopta un espesor  $D_1^*$ , ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa es:

$$SN_1^* = a_1 D_1^* \quad (11)$$

Para determinar el espesor mínimo de la base, se obtiene el  $SN_2$  a ser absorbido por concreto asfáltico y base .Así:

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2} \quad (12)$$

Se adopta un espesor ligeramente mayor  $D_2^*$ , y el número estructural absorbido será:

$$SN_2^* = a_2 m_2 D_2^* \quad (13)$$

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

Por último, para la subbase se obtiene  $SN_3=SN$  para todo el paquete estructural ya calculado. En este caso el espesor es:

$$D_3 \geq \frac{SN - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3} \quad (14)$$

Se adopta un espesor ligeramente mayor  $D_3^*$  y se obtiene el número estructural absorbido por la subbase:

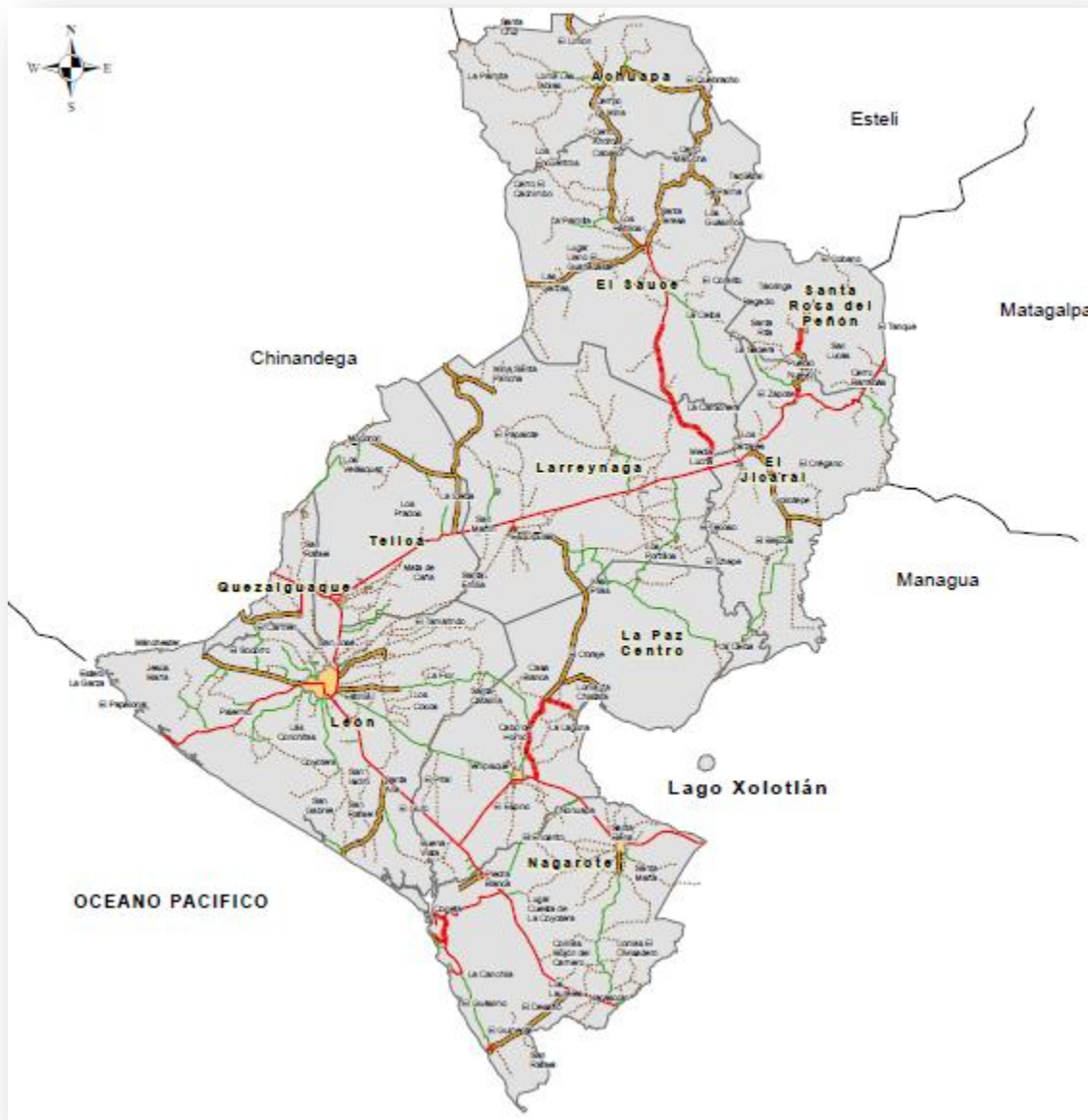
$$SN_3^* = a_3 m_3 D_3^* \quad (15)$$

Como verificación:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN \quad (16)$$

Con este criterio cada capa del paquete estructural resulta protegida.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (EsaI’s) de la Carretera León –Poneloya”.



# Capítulo 3

- Diseño Metodológico.
- Población y Muestra.
- Área de Estudio.



## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### **3.1 DISEÑO METODOLÓGICO**

El presente estudio es una investigación, No experimental, que se fundamenta en la determinación de las variables de interés para la solución del problema.

Se tomo como parámetros importantes la elaboración del conteo del tráfico que circula por la zona (Aforo) con el objetivo de conocer el TPDA que prevalece en la zona en función del tráfico real, ya que por medio de este conoceremos la tasa de crecimiento del mismo con respecto al año anterior y de esta manera se obtuvo una variable de suma importancia para la determinación de las cargas Esal. Se expandió el tráfico de la carretera a través de la utilización de los Factores de Expansión que ha determinado el MTI para las carreteras de uso turístico, específicamente correspondiente a la carretera San Marcos- Masatepe que corresponde al tramo NIC-18ª, esto debido a que en este tramo le corresponde el mayor porcentaje de vehículos livianos(85%) y el menor porcentaje de vehículos de carga(14.9%), el cual muestra un comportamiento similar al de las carreteras de uso turístico, como es el caso del tramo en estudio que en su mayoría el tráfico predominante es el de los vehículos livianos, presentando una cantidad mínima de vehículos de carga.

Se contó con una báscula móvil la cual fue proporcionada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura para realizar el pesaje de los vehículos que circulan en la vía. Cabe destacar que los vehículos que más daño causan a la estructura de pavimento son los vehículos de transporte pesado (Carga), por lo que nos concentraremos en el análisis de estos para conocer los diferentes FEC y determinar el Esal al que está sometido la estructura de pavimento.

### **3.2 Población y Muestra.**

Para efectos de diseño de estructuras de pavimento de acuerdo a resultados de estudios de tráfico, laboratorios de suelo, muestreos, aforos, etcétera, se han identificado que los daños que causan los vehículos livianos (Automóviles, Camionetas, Etc.) a la estructura del pavimento en carreteras, producto de su desplazamiento sobre la vía, es mínimo a razón de 1 en 50,000 respecto a vehículos pesados de manera que en la práctica se desprecian. Por tanto la población en este estudio estará constituida por todos los vehículos de cargas pesadas (Mayores a 5 toneladas métricas) que circulan en la carretera León-Poneloya.

Para obtener los FEC es necesario disponer de resultados de pesajes por eje de cada tipo de vehículo, recopilado de la estación de pesaje (Báscula móvil) ubicada en el lugar de estudio.

### **3.3 Área en estudio**

Para el año 2011 la Red vial Nacional quedo inventariada con un registro de 23,647.086 km de los cuales 631450.761 (13%) son pavimentados (adoquinado, asfalto y concreto hidráulico) y 20,496.325 km (87%) corresponden a no pavimentados. Puede observarse con respecto al año

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

2010 que la red pavimentada aumento en un 1.5% (336.553 km) y la red no pavimentada en un 5.4% (1,1.981 km).

Este estudio se enfoca en la carretera león Poneloya la cual abarca un total de 19.6km cuya carretera es de pavimento flexible, la cual es clasificada como Colectora Principal, esta carretera está catalogada con el código NIC-14.

**Tabla 4 Cobertura de la Red Vial Nacional**

Tipo de pavimento	Cantidad en Km	% En Km
Pavimentado (Adoquinado , Asfaltado y concreto hidraulico)	3,150.761 Kms	13%
No Pavimentado	20,496.325 Kms	87%

### 3.3.1 Zona de Influencia.

El área de influencia directa del proyecto se estima en 145 km<sup>2</sup> (ver Figura 3.3). La Influencia indirecta del camino mejorado está estimada alrededor de 200 km<sup>2</sup>, cubriendo parte de los departamentos de Chinandega, Estelí y Managua, además de otros municipios de León.

**Mapa de ubicación Carretera León Poneloya**



**Figura 3.3 Carretera León-Poneloya-Las Peñitas.**

**Fuente: Google Earth.**



## Capítulo 4

- ESTIMACIÓN DE LOS FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA.
- EXPANSIÓN DEL TRÁFICO A TPDA.
- CÁLCULO DE LA TASA DE CRECIMIENTO.
- DETERMINACIÓN DE LOS EJES EQUIVALENTES DE CARGAS.
- VALOR DEL NÚMERO ESTRUCTURAL.
- CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE CAPAS.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### 4.1 Estimación de los Factores Equivalentes de Cargas.

Para poder determinar los Factores Equivalentes de Carga por tipo de vehículo, es necesario conocer el tipo de pavimento del que está compuesto la superficie de rodamiento, los pesos por ejes de cada uno de los vehículos sujetos a estudio, el Número Estructural (SN) que componen las diferentes capas de la carretera y la pérdida de Serviciabilidad presente en la carretera.

A continuación se plantea cada una de las variables para el cálculo de los Factores Equivalentes de Carga:

#### 4.1.1 Pesos por Ejes:

Debido a que la Unidad de Pesos y Dimensiones del MTI no presentan datos sobre los pesos de los vehículos de carga que circulan sobre el tramo en estudio, se procedió a realizar el pesaje al pie de una báscula móvil proporcionada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura por un periodo de 7 días consecutivos, los cuales reflejan los siguientes datos:

- Fecha de Pesaje.
- Tipo de Vehículo.
- Peso en cada eje.
- Tipo de Carga.

Hay que destacar que en la carretera en estudio lo que más predomina es el tráfico liviano, ya que el tráfico pesado que mas circula sobre la vía son los camiones C2, Livianos de cargas, así como también de Buses. En caso de los Buses se pudo evidenciar por medio de los pesajes que algunos de ellos iban con exceso de carga (Pasajeros), lo que representa causa de daño a la superficie del pavimento, pero estos actualmente no son controlados por el MTI.

#### 4.1.2 Tipo de Pavimento:

La carretera León-Poneloya-Las Peñitas está conformada en toda su longitud por una estructura de pavimento flexible, lo cual sirve de parámetro para el cálculo del FEC correspondiente.

#### 4.1.3 Número Estructural:

Siguiendo la metodología de la AASHTO, la determinación de los espesores de las capas requeridas que formaran el pavimento es realizada para soportar los ESAL acumulados durante el periodo de diseño y aun proveer un servicio razonable suponiendo un nivel adecuado de mantenimiento.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

Para el caso de la Carretera León-Poneloya el Número Estructural de la misma es igual a  $SN=4.03^4$  pero para efectos del cálculo de los Factores Equivalentes de Cargas por tipo de vehículo, se utilizará un  $SN=4$ .

En la tabla N°5 se refleja el cálculo del SN

**Tabla 5 Cálculo del Número Estructural – Concreto Asfáltico**

Capas	Espesor D en cm.	Coeficiente de Drenaje (m)	Coeficiente Estructural (a)	Número Estructural (SN )
<b>Concreto Asfáltico</b>	7.5	1.00	0.161	1.21
<b>Base Grava Triturada</b>	15	1.00	0.055	0.83
<b>Sub base Granular</b>	22.5	1.00	0.047	1.06
<b>Material Selecto (mínimo teórico)</b>	30.0	1.00	0.031	0.93
	70			4.03

FUENTE: Informe de Diseño Final: León –Poneloya-Las Peñitas.

### 4.1.4 Pérdida de Serviciabilidad:

Para determinar esta variable, los diseñadores utilizaron el Manual de la SIECA como guía, obteniendo los siguientes resultados:

- Índice de Servicio Inicial Calculado=4.2
- Índice de Servicio Terminal Calculado=2

Con estos valores se obtiene el  $\Delta PSI=2.2$

Cabe mencionar que para el cálculo de los Factores Equivalentes de Cargas se utiliza solamente la Serviciabilidad Final.

### a) Metodología para el Cálculo de los FEC

Para determinar los Factores Equivalentes de Cargas que circularan en la carretera durante su vida útil, es necesario conocer los pesos por ejes de los diferentes tipos de vehículos que por sus características son causa de daño directo sobre la estructura de pavimento, generalmente lo

<sup>4</sup> Informe de Diseño Final: León-Poneloya-Las Peñitas.



## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esa's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

constituyen los vehículos de carga, los que a su vez son los que forman el conjunto de la muestra a ser pesada y controlada por el MTI.

En este estudio utilizaremos una serie de ecuaciones proporcionadas por el Manual AASHTO 93, las cuales están en función de los siguientes parámetros:

- $P_t$ =Índice de Serviciabilidad Final.
- $SN$ =Número Estructural(Calidad de Capa)
- $L_x$ =Carga en Kips sobre un eje Simple, Tandem y Tridem
- $L_2$ =Código de eje.
- $L_2=1$  Eje Simple.
- $L_2=2$  Eje Tandem.
- $L_2=3$  Eje Tridem.
- $r$ = Tasa de crecimiento.
- $Y$ = Periodo de Diseño.
- $G$ = Factor de Crecimiento.
- $D$ = Factor de Distribución de Dirección.
- $L$ = Factor de Distribución por Carril.

Estas ecuaciones también abarcan el cálculo de los Ejes Equivalentes de Cargas, cabe destacar que se harán los cálculos a través de estas ecuaciones (No interpolando con las tablas típicas del Manual AASHTO 93), para comparar con un ejemplo el cálculo del FEC por medio de las dos vías.

A continuación se procederá a calcular para un vehículo del tipo C2 el Factor Equivalente de Carga para cada eje y posteriormente el Factor Camión del mismo utilizando las tablas de diseño de la AASHTO 93 y también por medio de las ecuaciones:

Para poder utilizar las tablas de la AASHTO 93, se necesita contar con los siguientes datos de diseño:

- El peso en Kips de cada eje en estudio.
- La Serviciabilidad Final ( $P_t$ ).
- El Número Estructural ( $SN$ ).
- Tipo de eje.

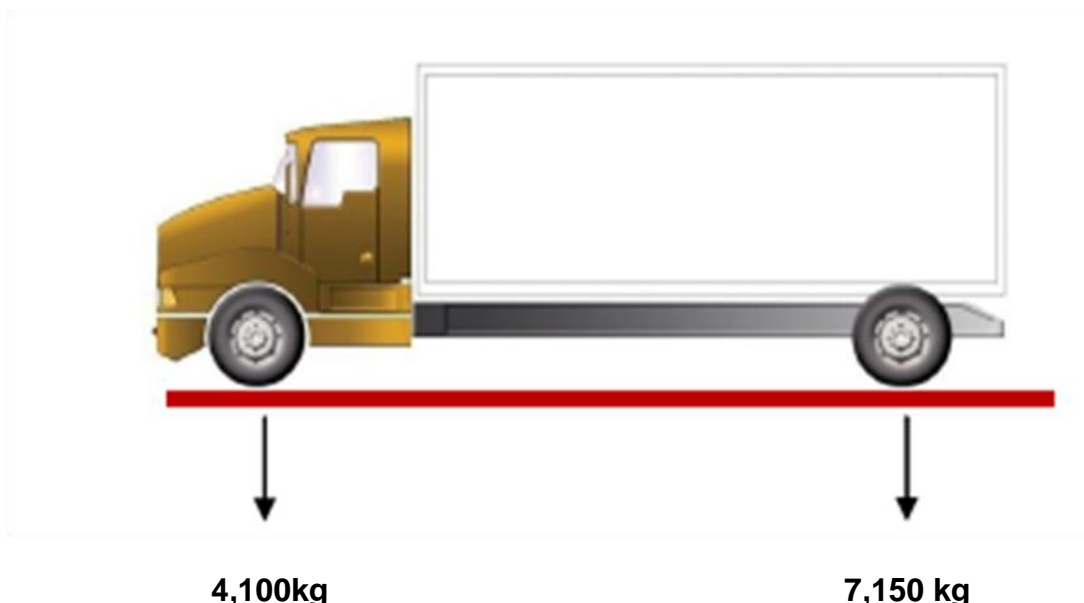
Con estos datos procedemos al cálculo del FEC por cada eje:

Utilizando la tabla 3.1 del Manual de Diseño de Pavimentos (AASHTO 93), para Pavimentos Flexibles, Número Estructural de 4, Ejes Simples y una Serviciabilidad Final de 2, procedemos al cálculo del FEC por cada eje:

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

---

Tomando registro con fecha del 22/02/2012 de un vehículo C2, con origen León y destino Las Peñitas, con placa LE-06371 se obtuvieron las siguientes cargas por cada eje:



Para poder efectuar el cálculo es necesario expresar las cargas en Kips

1kg=0.002204623 Kips.

- Para el Eje simple 1

$$P_1 = 4,100kg \left( \frac{0.002204623kips}{1kg} \right) = 9.039kips$$

- Para el Eje simple 2:

$$P_2 = 7,150kg \left( \frac{0.002204623kips}{1kg} \right) = 15.7631kips$$

Para el Eje simple 1:

Pt=2	SN=4
Carga	FEC
8	0.033
9.039	X
10	0.085

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

---

Por interpolación, procedemos a determinar el valor para  $p=9.039\text{kips}$

$$FEC_1 = \frac{0.17 - 0.049972}{2} = 0.060$$

Para el eje simple 2:

Pt=2	SN=4
Carga	FEC
14	0.350
15.763	X
16	0.612

$$FEC_2 = \frac{1.224 - 0.0621}{2} = 0.581$$

El Factor Camión correspondiente a este vehículo es la sumatoria de los FEC de cada eje es decir;

$$FC = FEC_1 + FEC_2$$

Por tanto:

$$FC = 0.060 + 0.581 = 0.641$$

Procederemos ahora a calcular los FEC y el FC del mismo ejemplo utilizando las ecuaciones para comparar la proximidad del cálculo por ambos medios:

Para utilizar las ecuaciones del manual AASHTO 93, se necesitan las siguientes variables:

- Serviciabilidad Final (Pt).
- Numero Estructural (SN).
- Código de Eje (L2).
- Carga en Kips sobre cada eje (Lx).

Para el Eje simple 1:

$$B_x = 0.4 + \frac{0.08(Lx + L2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L2^{3.23}} = 0.4 + \frac{0.08(9.039 + 1)^{3.23}}{(4 + 1)^{5.19} (1)^{3.23}} = 0.432$$

$$B_{18} = 0.4 + \frac{0.08(18 + 1)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19}} = 0.4 + \frac{0.08(18 + 1)^{3.23}}{(4 + 1)^{5.19}} = 0.6545$$



## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

---

$$G_t = \log\left(\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5}\right) = \log\left(\frac{4.2 - 2}{4.2 - 1.5}\right) = -0.08$$

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{t18}}\right) = 4.79 \log(18 + 1) - 4.79 \log(Lx + L2) + 4.33 \log(L2) + \frac{G_t}{B_x} - \frac{G_t}{B_{18}}$$

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{18}}\right) = 4.79 \log(18 + 1) - 4.79 \log(9.039 + 1) + 4.33 \log(1) - \frac{0.08}{0.432} + \frac{0.08}{0.6545} = 1.264084692$$

$$FEC_1 = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} = 0.054$$

Para el Eje simple 2:

$$B_x = 0.4 + \frac{0.08(15.7631 + 1)^{3.23}}{(4 + 1)^{5.19}(1)^{3.23}} = 0.5699$$

$$B_{18} = 0.6545$$

$$G_t = -0.08$$

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{18}}\right) = 4.79 \log(18 + 1) - 4.79 \log(15.7631 + 1) + 4.33 \log(1) - \frac{0.08}{0.5699} + \frac{0.08}{0.6545} = 0.242427686$$

$$FEC_2 = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} = 0.572$$

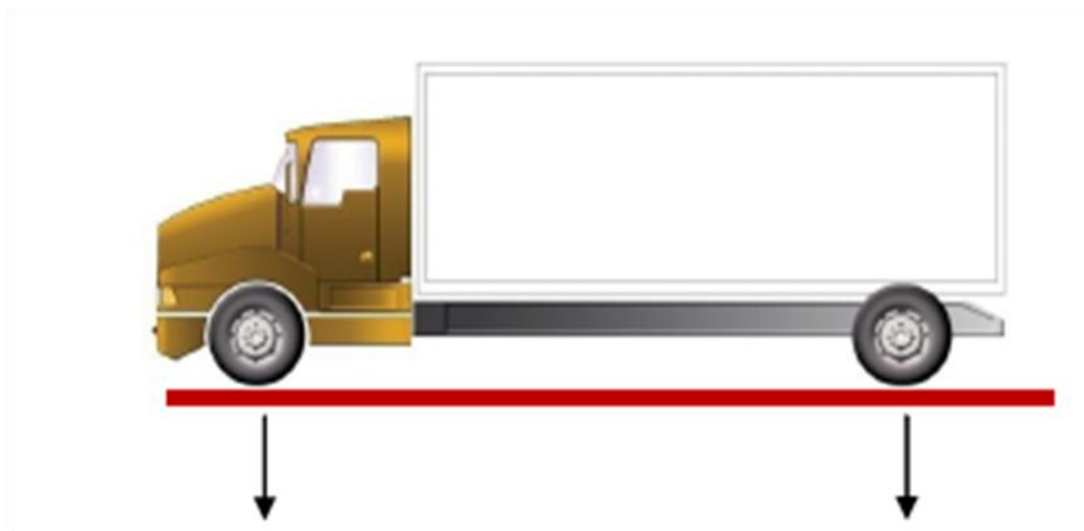
$$FC = FEC_1 + FEC_2$$

$$FC = 0.0544 + 0.572 = 0.626$$

Como se puede observar, ambos cálculos resultan ser aproximadamente iguales, con una pequeña variación en el segundo y tercer decimal, lo que no afecta el cálculo del Factor, por tanto:

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---



$$FEC_1=0.0544$$

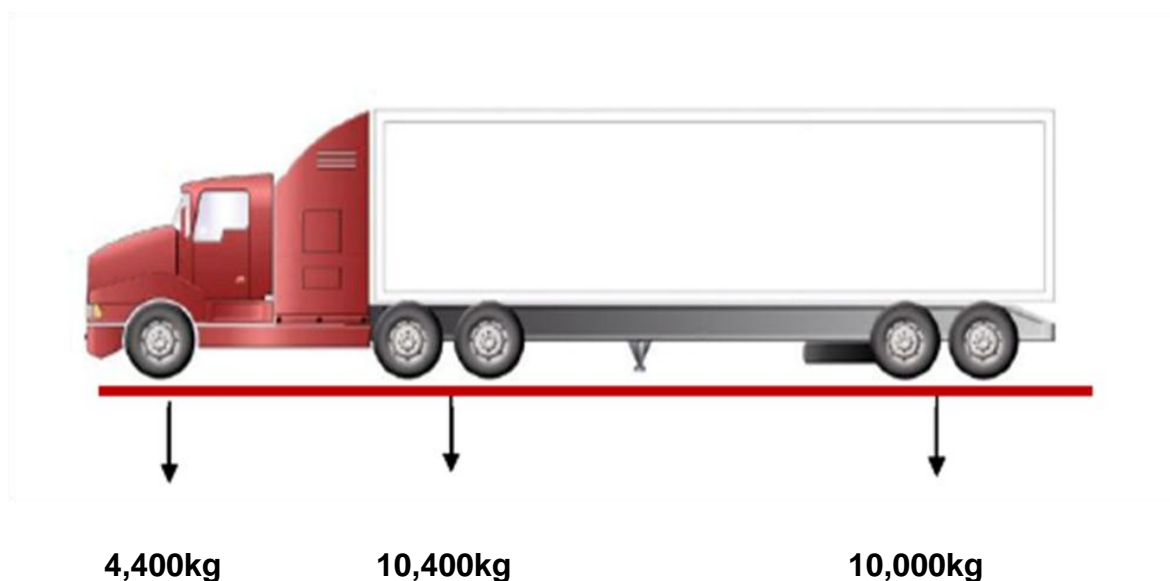
+

$$FEC_2=0.572$$

Por tanto el Factor Camión del Camión C2 es  $FC=0.626$

Utilizando la tabla 3.1 y 3.2 del Manual de Diseño de Pavimentos (AASHTO 93), para pavimentos flexibles, Número Estructural de 4, Ejes Simples y Ejes Tándem con una Serviciabilidad final de 2, procedemos al cálculo del FEC por cada eje:

Tomando registro con fecha del 25/02/2012 de un vehículo T3-S2, con origen León y destino Las Peñitas, con placa LE-14139 se obtuvieron las siguientes cargas por cada eje:



4,400kg

10,400kg

10,000kg

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

---

Para poder efectuar el cálculo es necesario expresar las cargas en Kips

1kg=0.002204623 Kips.

- Para el Eje simple 1:

$$P_1 = 4,400kg \left( \frac{0.002204623kips}{1kg} \right) = 9.7kips$$

- Para el Eje 2 Tándem:

$$P_2 = 10,400kg \left( \frac{0.002204623kips}{1kg} \right) = 22.93kips$$

- Para el Eje 3 Tándem:

$$P_2 = 10,000kg \left( \frac{0.002204623kips}{1kg} \right) = 22.05kips$$

Para el Eje simple 1:

Pt=2	SN=4
Carga	FEC
8	0.033
9.7	X
10	0.085

Por interpolación, procedemos a determinar el valor para p=9.7kips

$$FEC_1 = \frac{0.17 - 0.0156}{2} = 0.0772$$

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

---

Para el eje Tándem 2:

Pt=2	SN=4
Carga	FEC
22	0.174
22.93	X
24	0.252

$$FEC_2 = \frac{0.504 - 0.08346}{2} = 0.2103$$

Para el eje Tándem 3:

Pt=2	SN=4
Carga	FEC
22	0.174
22.05	X
24	0.252

$$FEC_3 = \frac{0.504 - 0.1521}{2} = 0.176$$

El Factor Camión correspondiente a este vehículo es la sumatoria de los FEC de cada eje es decir;

$$FC = FEC_1 + FEC_2 + FEC_3$$

Por tanto:

$$FC = 0.0772 + 0.2103 + 0.176 = 0.4635$$

Procederemos ahora a calcular los FEC y el FC del mismo ejemplo utilizando las ecuaciones para comparar la proximidad del cálculo por ambos medios:

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

---

Para utilizar las ecuaciones del manual AASHTO 93, se necesitan las siguientes variables:

- Serviciabilidad Final (Pt).
- Número Estructural (SN).
- Código de Eje (L2).
- Carga en Kips sobre cada eje (Lx).

Para el Eje simple 1:

$$B_x = 0.4 + \frac{0.08(Lx + L2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L2^{3.23}} = 0.4 + \frac{0.08(9.7 + 1)^{3.23}}{(4 + 1)^{5.19} (1)^{3.23}} = 0.4398$$

$$B_{18} = 0.4 + \frac{0.08(18 + 1)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19}} = 0.4 + \frac{0.08(18 + 1)^{3.23}}{(4 + 1)^{5.19}} = 0.6545$$

$$G_t = \log\left(\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5}\right) = \log\left(\frac{4.2 - 2}{4.2 - 1.5}\right) = -0.08$$

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{t18}}\right) = 4.79 \log(18 + 1) - 4.79 \log(Lx + L2) + 4.33 \log(L2) + \frac{G_t}{B_x} - \frac{G_t}{B_{18}}$$

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{18}}\right) = 4.79 \log(18 + 1) - 4.79 \log(9.7 + 1) + 4.33 \log(1) - \frac{0.08}{0.4398} + \frac{0.08}{0.6545} = 1.135$$

$$FEC_1 = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} = 0.0733$$

Para el Eje 2 Tándem:

$$B_x = 0.4 + \frac{0.08(22.93 + 2)^{3.23}}{(4 + 1)^{5.19} (1)^{3.23}} = 0.4652$$

$$B_{18} = 0.6545$$

$$G_t = -0.08$$

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{18}}\right) = 4.79 \log(18 + 1) - 4.79 \log(22.93 + 2) + 4.33 \log(2) - \frac{0.08}{0.4652} + \frac{0.08}{0.6545} = 0.6725$$

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

---

$$FEC_2 = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} = 0.2125$$

Para el Eje 3 Tándem:

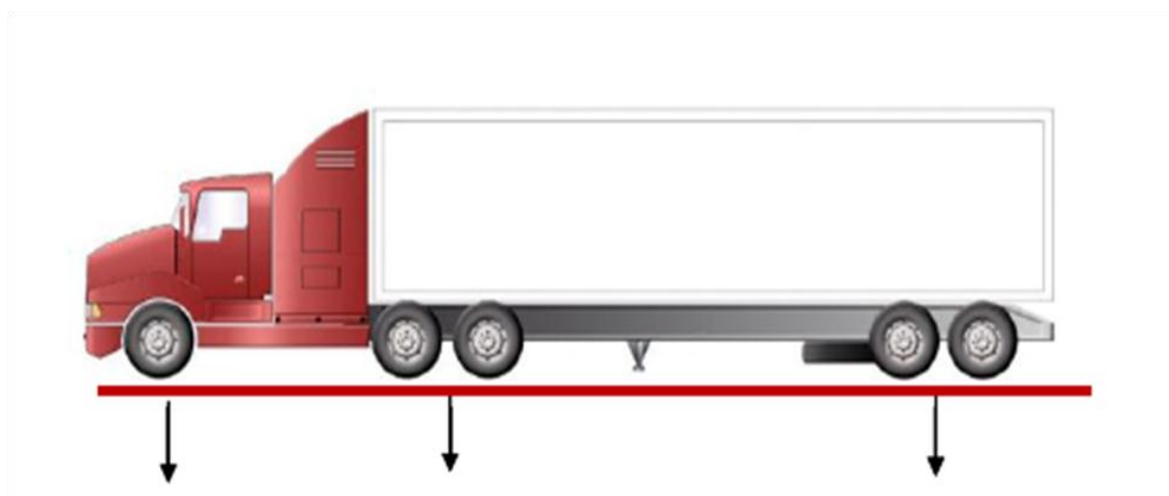
$$B_x = 0.4 + \frac{0.08(22.05 + 2)^{3.23}}{(4+1)^{5.19}(1)^{3.23}} = 0.9450$$

$$B_{18} = 0.6545$$

$$G_t = -0.08$$

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{18}}\right) = 4.79 \log(18+1) - 4.79 \log(22.05 + 2) + 4.33 \log(2) - \frac{0.08}{0.4581} + \frac{0.08}{0.6545} = 0.850$$

$$FEC_3 = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} = 0.1412$$



$$FEC_1=0.0733$$

$$FEC_2=0.2048$$

$$FEC_3=0.174$$

$$FC = FEC_1 + FEC_2 + FEC_3$$

$$FC = 0.0733 + 0.2125 + 0.1412 = 0.427$$

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

La metodología para el cálculo de los factores restantes es la misma, por lo que se procederá a hacer el cálculo de los factores a través de una hoja de cálculo de Excel:

A continuación se detallan los Factores Equivalentes de Carga para cada uno de los vehículos sujetos a estudio:

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

**Tabla Nro. 6 Cálculos de los Factores Equivalentes de Carga por tipo de Vehículo.**

**Pt=** 2 Índice de Serviciabilidad final  
**SN=** 4 Numero Estructural  
**Lx=** Cargas en Kips sobre un eje Simple, Tándem y Tridem  
**L2=** 1, 2, 3  
**FEC=** Factor Equivalente de Carga

L2= 1 Eje Simple  
 L2= 2 Eje Tándem  
 L2= 3 Eje Tridem  
 1 kg= 0.002205 Kips

$$FEC_1 = \frac{W_{t18}}{W_{tx}}$$

$$B_x = 0.4 + \frac{0.08(Lx + L2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L2^{3.23}}$$

$$B_{18} = 0.4 + \frac{0.08(18 + 1)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19}}$$

$$G_t = LOG \left( \frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5} \right)$$

$$LOG \left( \frac{W_{tx}}{W_{t18}} \right) = 4.79 LOG (18 + 1) - 4.79 LOG (Lx + L2) + 4.33 LOG (L2) + \frac{G_t}{B_x} - \frac{G_t}{B_{18}}$$

Tipo de Vehículo	Peso en Cada Eje (Kg)			Peso equivalente en KIPS			Bx			B18	Gt	Fec			Factor C
	Eje 1	Eje2	Eje3	Eje 1	Eje2	Eje3	Eje 1	Eje 2	Eje 3			Eje 1	Eje 2	Eje 3	
Bus	4100	7800		9.039	17.196		0.432	0.621		0.655	-0.089	0.055	0.827		0.8819
	3800	6300		8.378	13.889		0.426	0.516		0.655	-0.089	0.040	0.338		0.3785
	6000	10500		13.228	23.149		0.500	0.952		0.655	-0.089	0.276	2.860		3.1354
	4000	6600		8.818	14.551		0.430	0.533		0.655	-0.089	0.050	0.411		0.4611
	4080	5100		8.995	11.244		0.432	0.462		0.655	-0.089	0.054	0.139		0.1931



” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s)  
de la Carretera León –Poneloya”.

	4600	8900		10.141	19.621		0.445	0.732		0.655	-0.089	0.090	1.432		1.5221
	3100	7200		6.834	15.873		0.415	0.573		0.655	-0.089	0.017	0.592		0.6091
	5600	7200		12.346	15.873		0.481	0.573		0.655	-0.089	0.206	0.592		0.7980
	4000	5900		8.818	13.007		0.430	0.495		0.655	-0.089	0.050	0.257		0.3066
	5100	4400		11.244	9.700		0.462	0.440		0.655	-0.089	0.139	0.074		0.2133
	4000	6000		8.818	13.228		0.430	0.500		0.655	-0.089	0.050	0.276		0.3254
	3900	6600		8.598	14.551		0.428	0.533		0.655	-0.089	0.045	0.411		0.4561
	4000	6500		8.818	14.330		0.430	0.527		0.655	-0.089	0.050	0.386		0.4356
	5500	6600		12.125	14.551		0.477	0.533		0.655	-0.089	0.191	0.411		0.6023
	5500	5600		12.125	12.346		0.477	0.481		0.655	-0.089	0.191	0.206		0.3971
	4000	6000		8.818	13.228		0.430	0.500		0.655	-0.089	0.050	0.276		0.3254
	1400	1800		3.086	3.968		0.402	0.403		0.655	-0.089	0.001	0.002		0.0027
	3900	6700		8.598	14.771		0.428	0.539		0.655	-0.089	0.045	0.438		0.4828
	5100	6600		11.244	14.551		0.462	0.533		0.655	-0.089	0.139	0.411		0.5502
	3600	6500		7.937	14.330		0.422	0.527		0.655	-0.089	0.032	0.386		0.4178
	3800	6200		8.378	13.669		0.426	0.510		0.655	-0.089	0.040	0.316		0.3565
	5400	7100		11.905	15.653		0.473	0.566		0.655	-0.089	0.177	0.558		0.7351
	4100	9100		9.039	20.062		0.432	0.755		0.655	-0.089	0.055	1.571		1.6266
	4100	6600		9.039	14.551		0.432	0.533		0.655	-0.089	0.055	0.411		0.4666
	5200	6100		11.464	13.448		0.465	0.505		0.655	-0.089	0.151	0.295		0.4462
	3200	6400		7.055	14.110		0.416	0.521		0.655	-0.089	0.020	0.361		0.3811
	4300	7200		9.480	15.873		0.437	0.573		0.655	-0.089	0.068	0.592		0.6595
	3600	5000		7.937	11.023		0.422	0.458		0.655	-0.089	0.032	0.128		0.1598
	5800	8400		12.787	18.519		0.490	0.678		0.655	-0.089	0.239	1.126		1.3646

” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's)  
de la Carretera León –Poneloya”.

	6000	8000		13.228	17.637		0.500	0.639		0.655	-0.089	0.276	0.919		1.1942
	4300	10200		9.480	22.487		0.437	0.905		0.655	-0.089	0.068	2.532		2.5995
	3800	7800		8.378	17.196		0.426	0.621		0.655	-0.089	0.040	0.827		0.8668
	4200	7300		9.259	16.094		0.435	0.581		0.655	-0.089	0.061	0.627		0.6882
	3800	9200		8.378	20.283		0.426	0.767		0.655	-0.089	0.040	1.645		1.6847
	3900	6100		8.598	13.448		0.428	0.505		0.655	-0.089	0.045	0.295		0.3403
	3200	5200		7.055	11.464		0.416	0.465		0.655	-0.089	0.020	0.151		0.1704
	5900	7000		13.007	15.432		0.495	0.559		0.655	-0.089	0.257	0.526		0.7830
	4000	7900		8.818	17.417		0.430	0.630		0.655	-0.089	0.050	0.872		0.9216
	3900	9000		8.598	19.842		0.428	0.743		0.655	-0.089	0.045	1.501		1.5453
	3900	5800		8.598	12.787		0.428	0.490		0.655	-0.089	0.045	0.239		0.2838
	4500	10000		9.921	22.046		0.443	0.875		0.655	-0.089	0.082	2.330		2.4121
	5200	7000		11.464	15.432		0.465	0.559		0.655	-0.089	0.151	0.526		0.6769
	6000	7200		13.228	15.873		0.500	0.573		0.655	-0.089	0.276	0.592		0.8675
Liviano de Carga	3000	5400		6.614	11.905		0.413	0.473		0.655	-0.089	0.015	0.177		0.1918
	3200	4000		7.055	8.818		0.416	0.430		0.655	-0.089	0.020	0.050		0.0695
	1400	1800		3.086	3.968		0.402	0.403		0.655	-0.089	0.001	0.002		0.0027
	2600	3500		5.732	7.716		0.409	0.421		0.655	-0.089	0.008	0.028		0.0369
	2200	2800		4.850	6.173		0.406	0.411		0.655	-0.089	0.004	0.011		0.0156
C2	4100	7150		9.039	15.763		0.432	0.570		0.655	-0.089	0.055	0.575		0.6302
	4400	4900		9.700	10.803		0.440	0.455		0.655	-0.089	0.074	0.117		0.1918
	2600	4900		5.732	10.803		0.409	0.455		0.655	-0.089	0.008	0.117		0.1257

” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's)  
de la Carretera León –Poneloya”.

	6100	7200		13.448	15.873		0.505	0.573		0.655	-0.089	0.295	0.592		0.8874
	4000	7400		8.818	16.314		0.430	0.589		0.655	-0.089	0.050	0.664		0.7135
	5100	6100		11.244	13.448		0.462	0.505		0.655	-0.089	0.139	0.295		0.4343
	3300	2400		7.275	5.291		0.417	0.407		0.655	-0.089	0.022	0.006		0.0284
	2400	2300		5.291	5.071		0.407	0.406		0.655	-0.089	0.006	0.005		0.0112
	4000	6100		8.818	13.448		0.430	0.505		0.655	-0.089	0.050	0.295		0.3453
	4370	9080		9.634	20.018		0.439	0.753		0.655	-0.089	0.072	1.557		1.6293
	3800	9400		8.378	20.723		0.426	0.792		0.655	-0.089	0.040	1.799		1.8392
	3300	4000		7.275	8.818		0.417	0.430		0.655	-0.089	0.022	0.050		0.0721
	5100	9800		11.244	21.605		0.462	0.846		0.655	-0.089	0.139	2.141		2.2801
	3000	7200		6.614	15.873		0.413	0.573		0.655	-0.089	0.015	0.592		0.6070
	5300	6900		11.685	15.212		0.469	0.552		0.655	-0.089	0.163	0.495		0.6588
	4200	5800		9.259	12.787		0.435	0.490		0.655	-0.089	0.061	0.239		0.3001
T3-S2	4600	11200	15000	10.141	24.692	33.069	0.445	0.481	0.596	0.655	-0.089	0.090	0.284	0.966	1.3388
	4400	10400	10000	9.700	22.928	22.046	0.440	0.465	0.458	0.655	-0.089	0.074	0.207	0.176	0.4576

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### **b) Calculo del FEC por tipo de vehículo y tramo de carretera.**

La estimación de los FEC por tramo y tipo de vehículo es un promedio aritmético de los vehículos del mismo tipo que circularon por la ruta de interés a partir de la información obtenida de los pesos de cada uno de los vehículos.

Los Factores Equivalentes de Carga obtenidos para esta carretera están debidamente detallados para cada tipo de vehículo que fue objeto de peso para este estudio.

### **Análisis de Cargas de los Vehículos.**

En este estudio se realizó el pesaje de los diferentes vehículos que circulan por la carretera León - Poneloya, de los cuales los que más predominaron fueron los buses de pasajeros, aunque es importante mencionar que el MTI en la actualidad no tiene contemplado los buses dentro de los vehículos de carga, pero si es necesario su análisis ya que estos llegan a tener un peso de hasta 6,000 kg en el eje 1 y de 10,500 kg en el eje 2 al momento que estos circulan con gran cantidad de pasajeros y carga, del cual si lo comparamos al peso máximo permitido para un vehículo de carga del tipo C2 por el diagrama de cargas máximas permisibles se contempla un peso de 5,000kg para el eje 1 y de 10,000kg para el eje 2, motivo del cual no se puede asegurar a ciencia cierta que los buses circulan con sobre carga ya que para poder afirmarlo es necesario normarlo y después hacer efectivo su control de peso.

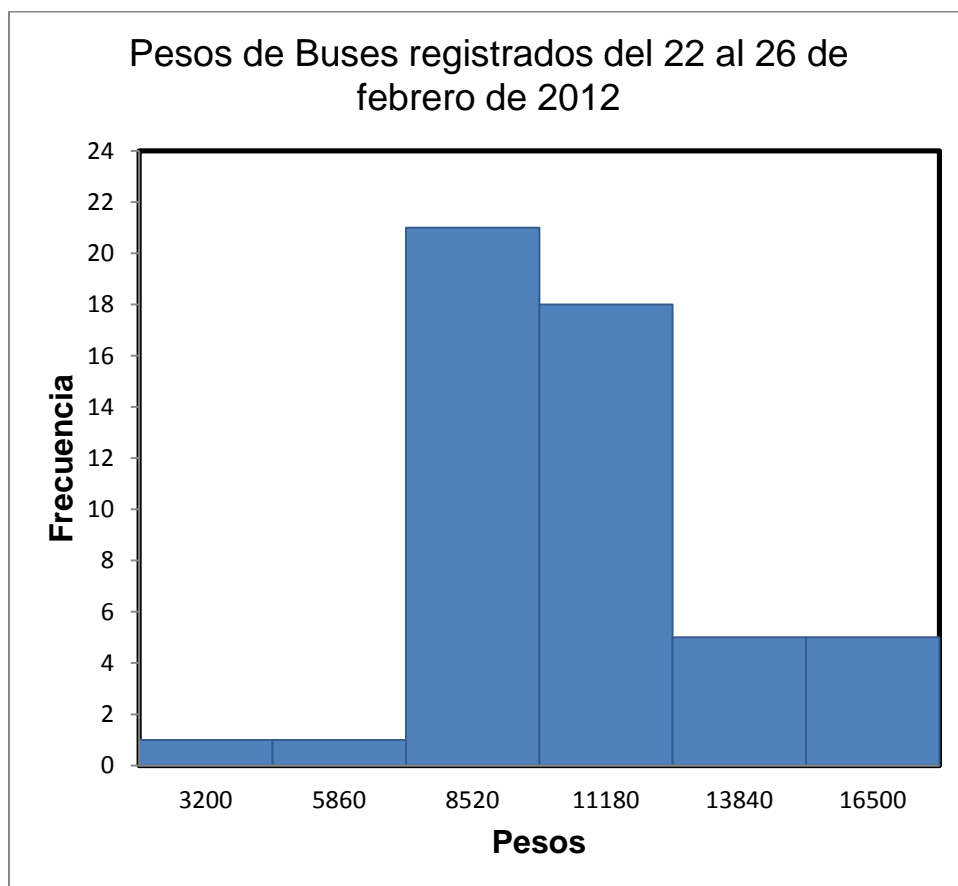
Con respecto a los otros vehículos pudimos constatar que no presentaban sobrecarga y por ende no es necesario hacer un análisis debido a sobre carga.

A continuación se detalla en general el comportamiento del peso de toda la muestra tomada de los vehículos pesados en la báscula móvil.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

**Gráfica 1 Distribución de Frecuencia para los Buses con fecha del 22 al 26 de febrero de 2012.**



En la gráfica Nro.1 se representa de forma numérica la cantidad total de buses que fueron pesados durante la semana del 22 al 26 de febrero de 2012, los cuales fueron 46 unidades en total que comprendió un horario de 6 am-6 pm, en la que es evidente que la mayoría de buses que fueron pesados comprenden un rango entre 8,520kg-11,180kg, con una cantidad de 21 buses lo que representa el 45.65% del total de buses pesados durante la semana.

**” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esa’s) de la Carretera León –Poneloya”.**

---

**Tabla 7 Carga de los vehículos tipo Bus  
obtenidos del miércoles 22 al domingo 26 de febrero de 2012.**

<b>Carga(Kg)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje(%)</b>
3199,5		
	1	2.17
5860,5		
	1	2.17
8520,5		
	21	45.65
11180,5		
	18	39.13
13840,5		
	5	10.88
16500,5		

Tal y como se observa en la tabla Nro.7, la cantidad total de buses que se pesaron durante la fecha de recopilación de datos (del 22 al 26 de febrero de 2012) fue de 46 unidades, de las cuales el 45.65% presentó un peso de entre 8,520 kg a 11,180 kg lo que al ser comparado con un vehículo del tipo C2 no sobrepasa el peso máximo permitido estipulado en el diagrama de pesos y dimensiones del MTI. Al analizar los datos, el porcentaje que mayor peso presentó es del 10.88% con un rango de pesos comprendidos de 13,840 kg a 16,500 kg si bien es cierto el porcentaje es mínimo hay que resaltar que este porcentaje es mayor al máximo permitido para un vehículo C2 pero no se puede asegurar que están sobre cargados porque el bus de pasajero no está restringido por el diagrama del MTI.

**Tabla 8 Pesos totales de los vehículos Livianos de carga  
obtenidos del miércoles 22 al domingo 26 de febrero de 2012.**

<b>Nro. Liviano De Carga</b>	<b>Peso (Kg)</b>
1	8,400
2	7,200
3	3,200
4	6,100
5	5,000

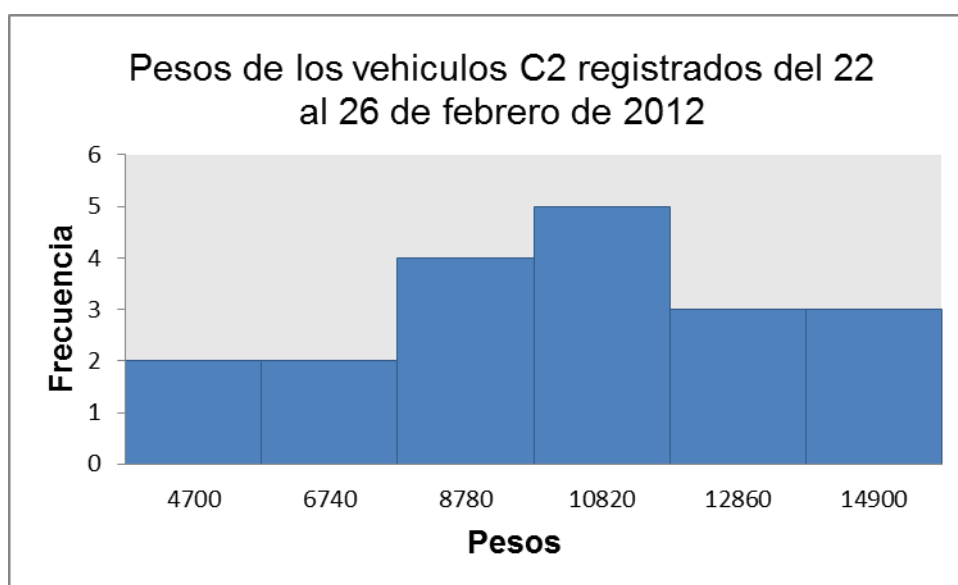
## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

Durante la realización del pesaje de los vehículos sujetos a estudio, el número de vehículos livianos de carga durante el periodo fue de 5 en su totalidad, un número realmente bajo con respecto a los buses y los camiones C2

Al analizar los pesos, se evidencia que estos no llevan cargas significativamente grandes que puedan dañar de cierta manera la estructura del pavimento, cabe destacar que los vehículos livianos de cargas no están contemplados en el Diagrama de Pesos Permisibles del MTI.

**Gráfica 2 Distribución de Frecuencia para los vehículos C2  
con fecha del 22 al 26 de febrero de 2012.**



En la gráfica Nro.2 se representa de forma numérica la cantidad total de vehículos del tipo C2 que fueron pesados durante la semana del 22 al 26 de febrero de 2012, los cuales fueron 6 unidades en total que comprendió un horario de 6 am-6 pm, en la que es evidente que la mayoría de vehículos C2 que fueron pesados comprenden un rango entre 10,820kg-12,860kg, con una cantidad de 5 unidades lo que representa el 31.25% del total de vehículos C2 pesados durante la semana.

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esa's) de la Carretera León –Poneloya".

---

**Tabla 9 Pesos totales de los vehículos C2  
obtenidos del miércoles 22 al domingo 26 de febrero de 2012.**

Carga(kg)	Frecuencia	porcentaje%
4699,5		
	2	12,5
6740,5		
	2	12,5
8780,5		
	4	25
10820,5		
	5	31,25
12860,5		
	3	18,75
14900,5		

En la tabla Nro.9 se observa que la mayoría de los camiones presentaron pesos de entre 10,820.5 kg a 12,860.5 kg que representa el 31.25 % del total de la muestra, es importante detallar que al momento del pesaje ningún camión presentó exceso de carga al momento de transitar por la vía, este comportamiento se mantuvo a lo largo de todo el período del pesaje.

**Tabla 10 Pesos totales de los vehículos T3-S2  
obtenidos del miércoles 22 al domingo 26 de febrero de 2012.**

Nro.T3-S2	Carga(kg)
1	30,800
2	24,800

Al momento de la realización del pesaje en la vía durante el transcurso de la semana solamente transitaron 2 vehículos del tipo T3-S2 lo que muestra que su tráfico por la zona es casi inexistente. Otro aspecto importante de resaltar es que ninguno de los dos vehículos presentaba cargas que sobrepasara el peso máximo permisible por el diagrama de pesos y dimensiones del MTI el cual es de 37,000 kg las cargas totales en ambos vehículos fueron de 30,800kg y 24,800kg respectivamente.

### **c) Análisis y Selección del FC por tipo de vehículo.**

El peso de los vehículos se transmite a la estructura del pavimento mediante el contacto entre las llantas y la superficie de rodadura, razón por la cual se acostumbra clasificar los vehículos de acuerdo con el número de ejes y el número de llantas en estos. Estas variables a su vez están muy relacionadas con la capacidad máxima de carga de los vehículos.



## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

Para el diseño de una estructura de pavimento, se acostumbra estandarizar los pesos de los vehículos de cargas mediante el uso de “Cargas Equivalentes de Ejes Estándares” o Esal's (Equivalent Standard Axle Load), los cuales se expresan en función de diversos parámetros del pavimento y de las cargas. Sin embargo, para efectos cuantitativos se pueden simplificar como la relación entre la carga de un eje de 18 Kips y la carga estándar asociada con esa misma configuración de ejes.

Según la clasificación del MTI, la categorización “Vehículos de Carga” abarca los siguientes tipos de vehículos:

- Liviano de Carga.
- Camión de Carga.
- Camión de Carga Pesada.

Por efecto de su peso total y peso por eje, se adiciona a esta lista los “Vehículos Pesados de Pasajeros”, particularmente aquellos de mas de 30 asientos.

- Autobús.

Tal y como se observa en los resultados de los conteos clasificados de vehículos para este camino, presentados en el anexo, la cantidad de vehículos pesados es relativamente baja y se concentra principalmente en las categorías autobús y camiones de 2 ejes del tipo C2.

Los pesos máximos legales permisibles (Totales y por Ejes) para cada tipo de vehículo están estipulados por el Diagrama de Cargas Permisibles del MTI, por lo cual es importante analizar cada caso para luego comparar los valores máximos estipulados contra los que realmente circulan en la vía de estudio. En particular, es importante analizar los casos del camión C2 y el de los Buses ya que estos son los de mayor presencia en la carretera León-Poneloya. Para el caso del vehículo del tipo C2 que permite un peso máximo total de 15 toneladas métricas con pesos máximos de 5 toneladas en el eje delantero (2 llantas) y 10 toneladas en el eje trasero (4 llantas), para el caso de los buses de pasajeros no existe control de sus pesos máximos permisibles de parte del MTI pero este tipo de vehículo se podrá comparar con los del tipo C2 para tener noción del aporte de este al desgaste de la estructura de pavimento. No obstante es importante destacar que el comportamiento de la carga del bus es diferente a la del vehículo C2, ya que en el bus la distribución de la carga es más uniforme en sus ejes debido a que generalmente la carga que transporta son personas lo que lo diferencia del C2 que la mayoría de la carga que este transporta se concentra en su eje trasero. Es por esta razón que los factores en ambos vehículos dan resultados diferentes en cada uno de sus ejes.

Aplicando las cargas estándares, un camión del tipo C2 que lleva la carga máxima permitida distribuidas para no sobrepasar los valores previos deberá tener un  $FEC=0.128$  en su eje delantero y un  $FEC=2.33$  en su eje trasero, por lo que su Factor Camión (Suma de los FEC en cada uno de sus ejes) seria 2.458.El valor registrado en las báscula móvil ubicada en la vía de estudio con un

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

percentil del 90% es de 1.75, lo que demuestra claramente que no existe sobrecarga de parte de este tipo de vehículo con respecto a las cargas reglamentadas por el MTI.

Los datos analizados para la báscula móvil corresponden a una muestra obtenida durante un periodo de 5 días: del 22 al 26 de Febrero de 2012 de las 6 am a las 6 pm. Durante este periodo se pesaron un total de 69 vehículos de carga, distribuidos según se indican en la Tabla Nro.11.

**Tabla 11 Muestra vehicular pesada en la báscula móvil  
entre el 22 al 26 de Febrero de 2012**

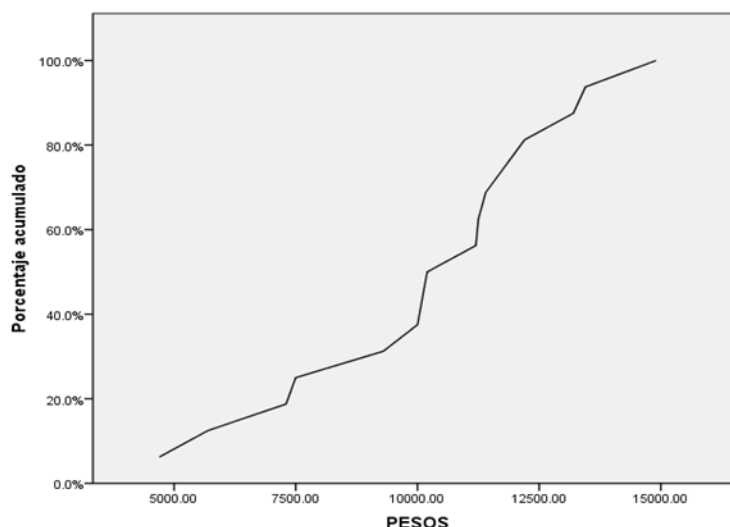
<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Cantidad Aforada</b>	<b>Porcentaje Total</b>
Buses	46 unidades	65.22%
Livianos de Cargas	5 unidades	7.25%
C2	16 unidades	24.64%
T3-S2	2 unidades	2.89%
<b>Total Aforado</b>	<b>69 unidades</b>	<b>100%</b>

Tal y como se observa en la tabla la mayor cantidad de vehículos pesados que circulan en la vía son los buses de pasajeros, representando un 65.22% del total de ellos, por lo que se hace necesario el análisis de este vehículo para determinar el valor respectivo del Factor Camión y el comportamiento de sus pesos, también analizaremos el vehículo del tipo C2, ya que estos representan casi  $\frac{1}{4}$  del total de la muestra aforada.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

**Gráfica Nro. 3 Distribución de frecuencia acumulada para los 17vehículos C2 aforados con relación al peso total de cada vehículo.**



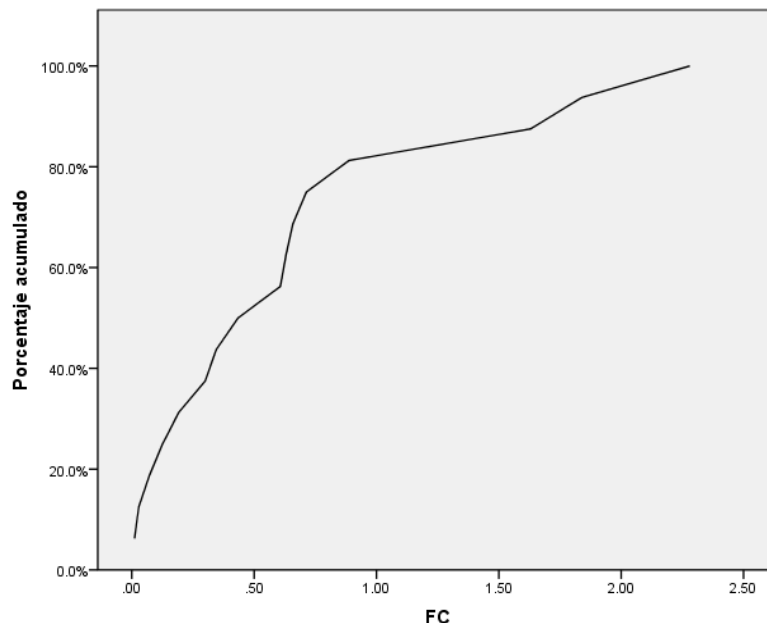
**Fuente: Elaboración Propia.**

Del total de vehículos tipos C2 aforados, el 100% lleva una carga igual o inferior a la carga máxima legal permitida que es de 15 toneladas (15,000kg), lo que claramente evidencia que los vehículos que circulan por la vía en estudio no presentan sobrecarga.

Para comprobar este efecto se ha preparado la gráfica Nro.4 En ésta se muestra el Factor Camión para estos mismos vehículos .El Factor Camión es la suma del Factor Equivalente de Carga calculados para cada uno de los dos ejes de cada vehículo.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

**Gráfica Nro. 4. Factor Camión para vehículo tipo camión C2 de la báscula móvil, del 22 al 26 de febrero de 2012.**



**Fuente: Elaboración Propia.**

Los datos empleados para generar la gráfica Nro.4 muestran que el 100% de la muestra tiene valores por debajo de 2.46, valor que corresponde a un FC que circula con la carga máxima legal.

Lo fundamental en este análisis es determinar cuál debe ser el Factor Camión a emplear, es por eso que se hace necesario el análisis del conjunto de valores para cada tipo de vehículo. Los datos presentados muestran que el nivel de sobrecarga (Total o por Eje) corresponde al 0% (Con respecto a la carga legal). Si se usara un factor de 0.67 lo cual corresponde al valor medio, se tendría una alta probabilidad de que 1 de cada 2 vehículos sobrepase ese valor es decir, el 50% de los vehículos poseen un Factor Camión mayor que 0.67.

Si a los vehículos C2 se le asignara un Factor Camión igual a 1, los datos de la muestra indican que casi un 17% de los camiones superen este valor, lo que significa que el 17% de los vehículos estarían generando más daño que lo calculado con un Factor Camión igual a 1.

Un Factor de 1.5 es superado por casi un 15% de los vehículos de la muestra, mientras que un factor de 1.75 es superado por solo el 9% de los vehículos de la muestra.

Este análisis indica claramente la necesidad de promover un estricto control de cargas en los caminos una vez pavimentados. Si los vehículos llevan cargas superiores a las calculadas en el

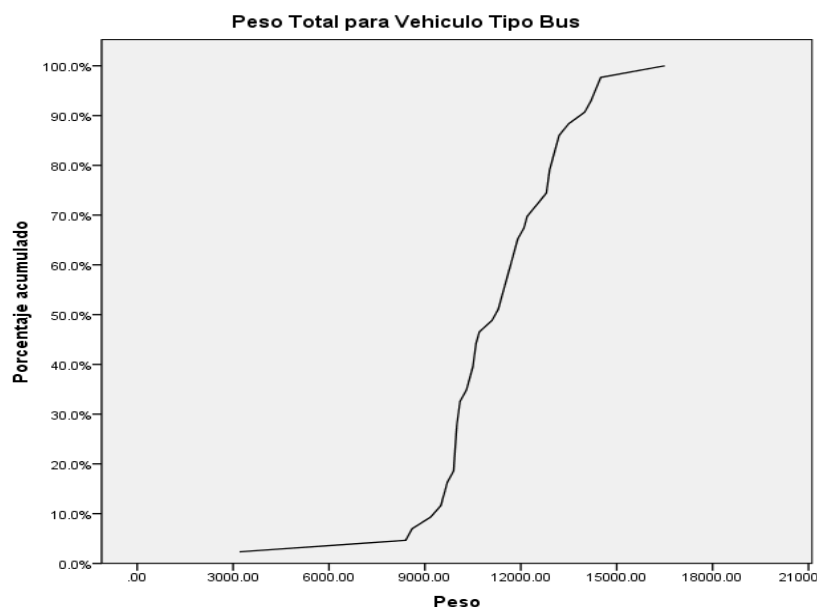
## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

diseño, la vida útil de la estructura del pavimento se verá reducida con respecto a los 20 años para los que ha sido diseñada sin embargo, tal y como se observa en la muestra, ninguno de los vehículos aforados presentó sobrecarga a la hora que circulaban por la vía, lo que claramente indica que el tráfico no representa la mayoría del daño al que está sometida la carretera, pero hay que tomar en cuenta los posibles factores que puedan cambiar de forma radical la magnitud del tráfico de la zona y es ahí donde se debe tener sumo cuidado a la hora de determinar el valor del factor que será utilizado para el calculo del ESAL.

Por lo expuesto anteriormente se considera que un nivel de confiabilidad del 90% para esta variable clave es un factor de seguridad bastante razonable pero debido a que el valor correspondiente al 90% (1.75) de confiabilidad es menor que el valor correspondiente al FEC calculado con las cargas máximas permisibles, se selecciona entonces un factor igual a 2.45 que es el correspondiente para un camión del tipo C2 que circula con las cargas máximas permisibles, no se propone un valor mayor al máximo permisible debido a que en la vía no se identificaron valores que sobrepasen esa cantidad ni tan siquiera con valores iguales o aproximados al maximo.Tal y como se muestra en las gráficas Nro.3 y Nro.4 el 100% de la muestra presentan valores por debajo al máximo permisible.

Resumiendo, el Factor Camión asignado a los vehículos de carga del tipo C2 es de 2.45 debido a que este valor no es excedido por ninguno de los vehículos de la muestra, lo que claramente respalda la selección de este valor

**Gráfica Nro. 5 Distribución de frecuencia acumulada para los 45 buses aforados con relación al peso total de cada vehículo.**



**Fuente: Elaboración Propia.**

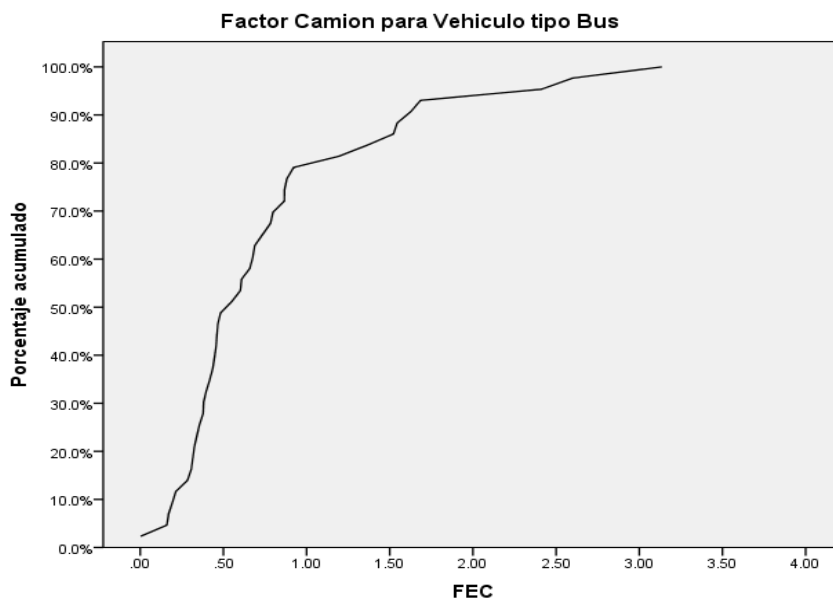
## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

En la gráfica se observa los pesos totales del vehículo tipo Bus, es importante resaltar que el MTI no contempla ningún peso establecido para este tipo de vehículo lo que significa que no se tiene control alguno para poder decir si dicho vehículo va o no sobrecargado. Es por eso que nosotros tomamos como referencia el vehículo tipo C2 debido a que es el que más se asemeja al Bus ambos son de dos ejes con la única diferencia de que el bus es de Pasajeros y el C2 es de Carga. Cabe de destacar que esto es solo como observación y la distribución de carga en el bus es diferente que en el C2. Teniendo un peso establecido para el C2 de 15,000 Kg distribuidos en Eje 1 con 5,000 kg y en Eje 2 con 10,000 podemos sacar conclusiones de la gráfica de pesos de los buses.

Del total de Buses aforados el 98.5% lleva una carga igual o menor a la carga total permitida que es 15 toneladas (15000 Kg). El restante 1.5% lleva una carga mayor a 15 toneladas esto significaría una sobrecarga para el caso del C2 pero no para el de tipo Bus de pasajeros, ya que como se resaltó anteriormente este vehículo no cuenta con normativa que límite su peso a la hora de circular por la carretera.

A continuación se analizará el Factor Camión para este mismo vehículo, el factor camión es la suma de los ejes equivalentes calculados para cada uno de los dos ejes de cada vehículo.

**Gráfica Nro. 6 Distribución de frecuencia acumulada para los 45 buses aforados con relación al FC de cada vehículo.**



Fuente: Elaboración Propia.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

Tomando como referencia la Báscula fija de Mateare se indicó un FC de 1.98 para Bus Grande (>30 asientos). Analizando los datos en la gráfica se muestra que un 94% de los buses aforados son iguales o menores al FC estipulado para el caso de la báscula de mateare, lo que significa que solo un 6% está por encima de este valor.

Si a los buses se le asigna un FC igual a 0.51, quiere decir que el 50 % de los buses supera este valor y por lo tanto este le causará un mayor daño a la estructura del pavimento.

Si se le asigna un FC igual al 1.10 quiere decir que solo un 80% de los buses es igual o menor al valor establecido y un 20% sobrepasa el 1.10.

De acuerdo a la gráfica se analiza con un percentil del 90% dando como resultado un FC de 1.60. El Factor obtenido es menor que el Máximo determinado en la báscula de Mateare que es de 1.98.

Se compara el FC establecido para la Báscula de Mateare con el obtenido en la Báscula móvil de La Carretera León- Poneloya tomamos como valor máximo el de la bascula fija y se puede concluir que el FC de nuestro tramo en estudio es menor, lo que significa que la suma en cada eje esta en los rangos permisibles. Este análisis se hace para determinar cuál debe ser el valor a emplear para diseños de pavimentos.

Para soporte de nuestro estudio (Carretera León-Poneloya) utilizamos los datos de la tabla Nro.14 del “Informe Final de Trafico” Proyecto León-Poneloya-Peñitas que se realizó en Marzo de 2008 de la Cuenta Reto del Milenio en él se hizo un análisis de los datos de la báscula fija de Mateare y que en este informe es la tabla Nro.12.

**Tabla Nro.12 Factor Camión correspondiente a la Bascula Fija de Mateare.**

Tipos de Vehículos	Clasificación MTI	ESAL Báscula Mateare	ESAL Báscula Chilamatillo	Promedio
Micro Bus (< 15 asientos)	6	0.17	0.00	0.00
Bus Pequeño (15-30 asientos)	7	0.75	0.00	0.00
Bus Grande (> 30 asientos)	8	1.98	1.31	1.645
Pulman Bus Turismo	8	0.70	0.48	0.59
C2 <= 5 Toneladas (Livianos de Carga)	10	0.03	0.05	0.04
Camión de Carga C2 > 5 Toneladas	11	1.92	1.57	1.745
Camión de Carga C3	12	2.59	1.19	1.89
Tx-Sy <= 4 ejes	13	1.65	0.00	1.65
Tx-Sy >= 5 ejes	14	3.10	2.96	3.03

**Fuente: Informe Final de Trafico” Proyecto León-Poneloya-Las Peñitas.**

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

Para determinar el factor camión a utilizar de los vehículos T3-S2 y Liviano de carga, no se graficó la ojiva debido a que la muestra para ambos casos es mínima es decir, dos unidades para el vehículo T3-S2 que corresponde al 2.89% de la muestra total aforada y 5 vehículos para los Livianos de carga que corresponden al 7.25%, por lo que se procederá a determinar su factor con el promedio aritmético para ambos.

**Tabla Nro.13 Porcentaje total correspondiente a los vehículos T3-S2 y Liviano de carga.**

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Cantidad Aforada</b>	<b>Porcentaje Total</b>
Livianos de Cargas	5 unidades	7.25%
T3-S2	2 unidades	2.89%
<b>Total Aforado</b>	<b>7 unidades</b>	<b>10.14%</b>

**Tabla Nro.14 Factor Camión correspondiente a los vehículos T3-S2 y Livianos de Carga (Promedio Aritmético).**

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Factor Camión</b>
T3-S2	0.8982
Liviano de Carga	0.0633

### **4.2 Expansión del Tráfico a TPDA.**

Debido a que los conteos de tráfico vehicular se realizaron en un periodo de 12 horas y por 7 días en una oportunidad durante el año, se hace estrictamente necesario la utilización de los Factores de Expansión de Tráfico que ha determinado el Ministerio de Transporte e Infraestructura para carreteras de uso turístico, donde se encuentra ubicada una Estación de Conteo de Mayor Cobertura de la cual en función del tráfico se determinaron los diferentes tipos de Factores de Expansión de Tráfico.

El MTI a través de la División de Administración Vial realizó una clasificación de las estaciones de conteo en base a su tipo y función y de esta forma se determinaron los diferentes tipos de Estaciones de Conteo de Tráfico.

Para el caso de este estudio, se utilizaron los Factores de Expansión de la carretera San Marcos – Masatepe, correspondiente al tramo NIC-18ª según clasificación del MTI en la cual se ubica la estación de Mayor Cobertura Nro.1802.



## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

En la tabla Nro.15 se detallan los porcentajes vehiculares de las estaciones de mayor cobertura a nivel nacional.

**Tabla 15 Porcentaje Vehicular en las Estaciones de Mayor Cobertura.**

N °	CODIGO NIC	EST.	NOMBRE DEL TRAMO	Región	AÑO	TPDA	TOTAL PESADOS	TOTAL Tx Cx	% DE LIVIANOS	% PESADOS	% Tx Cx en vehículo de carga
1	NIC-1	101 B	Zona Franca-La Garita	PN	2010	16122	4,450	650	72.2%	27.6%	14.6%
2	NIC-2	107	Sebaco-Emp. San Isidro	CN	2010	4334	1,248	375	66.8%	33.0%	28.1%
3	NIC-3	200	Entrada al INCAE-El Crucero	PN	2010	6412	1,130	332	82.2%	17.6%	29.4%
4	NIC-4	300	Sebaco-quebrada honda	CN	2010	3538	1,105	133	68.7%	31.2%	12.0%
5	NIC-5	401	Masaya-granada	PS	2010	6080	981	71	83.7%	16.1%	7.2%
6	NIC-7	700	Emp.camoapa-Tecolostote	CN	2010	2097	844	145	59.5%	40.3%	17.1%
7	NIC-12A	120 5	Emp. Chichigalpa-Rotonda Chinandega	PN	2010	7384	2,375	938	67.3%	32.2%	39.5%
8	NIC-18A	180 2	San Marcos-Masatepe	PS	2010	4936	734	40	85.0%	14.9%	5.4%
9	NIC-24A	240 4	Chinandega-corinto	PN	2010	2893	975	592	65.7%	33.7%	60.7%
10	NIC-24B	240 0	Chinandega (rotonda)-ranchería	PN	2010	2831	951	422	65.1%	33.6%	44.4%
11	NIC-28	280 3	Nagarote- la paz centro	PN	2010	5553	1,938	840	64.8%	34.9%	43.3%

Fuente: Anuario de Trafico 2010/MTI

En la tabla anterior podemos observar que la Estación 1802 San Marcos- Masatepe, le corresponde el mayor porcentaje de vehículos livianos el 85%, y el menor porcentaje de vehículos pesados con 14.9%, el cual muestra un comportamiento similar al de la carretera León-Poneloya que en su mayoría el trafico que mas predomina es el de vehículos livianos con una cantidad mínima de vehículos de carga.

El MTI le asignó como estación padre de conteo a las carreteras de uso turístico la Estación de Conteo Nro.1802 (San Marcos- Masatepe) por la similitud del comportamiento del tráfico, por esta razón se utilizan los factores de expansión de tráfico de esta estación para este tramo.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

En la siguiente tabla se observa algunos tramos de los cuales su estación padre es la Estación de Mayor Cobertura de San Marcos- Masatepe

**Tabla 16 Dependencia de Estaciones.**

PERMANENT E	NIC	Nº ESTACIÓN	TIPO	km	NOMBRE DEL TRAMO
1802	NIC-18A	1802	EMC	46.0	San Marcos - Masatepe
	NIC-3	318	ECD	164.0	Jinotega - Llano La Cruz
	NIC-3	303	ECD	167.0	Llano La cruz - Emp. San Gabriel
	NIC-3	304	ECD	180.0	Emp. San Gabriel - San Rafael del Norte
	NIC-3	305	ECD	187.5	San Rafael del Norte - San Sebastián de Yalí
	NIC-3	307	ECD	218.0	El Tule - Condega (Inter Nic-1)
	NIC-4	404	ECD	48.8	Granada - Emp. Guanacaste
	NIC-5	903	ECD	134.2	Matagalpa - Emp. San Francisco
	NIC-8	803	ECD	49.0	San Rafael del Sur - Inter Nic-10
	NIC-8	804	ECD	56.0	Inter Nic - 10 - Emp. Masachapa
	NIC-8	805	ECD	58.9	Emp. Masachapa - Pochomil
	NIC-10	1001	ECD	35.0	Emp. Santa Rita - Emp. Villa del Carmen
	NIC-10	1006	ECD	54.0	Emp. Villa del Carme - Emp. Masachapa (Inter Nic - 8)
	NIC-12A	1200	ECD	17.7	Semáforo Villa Auto Hotel Nejapa - Santa Rita
	NIC-12B	1212	ECD	149.7	El Viejo - Tom Valle
	NIC-12B	1208	ECD	165.0	Tom Valle - El Congo
	NIC-12B	1231	ECD	198.0	Emp. Cosiguina - Potosí
	NIC-13B	1302	ECS	210.0	Rio Blanco - Bocana de Paiwas
	NIC-14	1401	ECD	95.0	Emp. El Polvón - Poneloya - Las Peñitas
	NIC-15	1501	ECD	223.5	Yalagüina - Ocotal

Fuente: Anuario de Tráfico 2010/MTI

El cálculo de los factores para esta Estación de Mayor Cobertura fue dividido en tres etapas del año, la primera etapa abarca desde el mes de Enero hasta Abril, la segunda etapa abarca desde Mayo hasta Agosto y la tercera etapa abarca desde Septiembre hasta Diciembre, hay que destacar que los ingenieros consultores recomiendan al MTI dividir estas etapas en cuatro etapas de tres meses cada una pero por falta de presupuesto se divide en tres etapas, para nuestro aforo se utilizarán los factores de expansión de la primera etapa, esto debido a que el mismo fue realizado del 21 al 27 de febrero de 2012.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

Cabe destacar que la carretera San Marcos-Masatepe es de uso urbano y no de uso turístico por lo que sería recomendable asignarle como estación padre una que este ubicada en una carretera de uso turístico, pero actualmente no es posible por falta de presupuesto gubernamental.

” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

A continuación se muestra el cálculo de la expansión del tráfico obtenido en el aforo de la carretera León-Poneloya.

Tabla Nro.17 Expansión de Tráfico a TPDA

Camino NIC-14  
Sitio 19+200  
Tramo Carretera León - Poneloya  
Periodo 6 am - 6 pm

Día de la semana	Período	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	MicBus	MinBus	Bus	C2L	C2	C3	T-S<=4	T-S=>5	C-R=<4	C-R=>5	V.A	V.C	Otros	Total
Martes	Día	115	133	80	215	15	3	34	21	28	0	0	1			0		153	798
Miércoles	Día	120	165	69	218	12	4	45	40	35	2	1	0			0		277	988
Jueves	Día	148	166	67	238	46	9	42	40	20	1	0	1			0		294	1072
Viernes	Día	140	149	191	365	49	9	42	46	34	1	0	1			2		271	1300
Sábado	Día	151	249	190	346	58	9	34	43	19	1	0	3			1		386	1490
Domingo	Día	218	303	175	357	49	6	33	14	8	0	1	0			0		433	1597
Lunes	Día	148	130	54	256	23	2	36	23	19	1	0	0			0		212	904
Promedio Diurno		149	185	118	285	36	6	38	32	23	1	0	1			0		66	1164
Fac.N (12h diurnas a 24h)		1.243	1.479	1.28	1.3309	1.39531	1.1309	1.198	1.22134	1.28149	1.10759	1	1.4			1		1.16	
Promedio Diario		185	274	151	379	50	6	46	40	30	1	0	1			0		76	
TPDS		185	274	151	379	50	6	46	40	30	1	0	1			0		76	1239
Fac. ( a TPDA)		1.1	1.0	0.9	1.0	0.9	0.8	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1			1.0		1.6	
TPDA		209	267	142	373	45	5	45	40	30	1	0	1			0		122	1281

Porcentaje de vehículos Livianos  
85%

Porcentaje de vehículos Pesados  
6%

Porcentaje de Otros  
10%

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

Tal y como se observa en la tabla Nro.17 la mayoría del tráfico que circula por el tramo León-Poneloya se concentra en los vehículos livianos representando el 85% y con leve tránsito pesado con un 6%, debido a este comportamiento es que el tramo tiene como estación de conteo padre a la Estación de Mayor Cobertura ubicada en la carretera San Marcos-Masatepe.

### 4.3 Cálculo de la Tasa de Crecimiento.

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), es la unidad de medida habitual para indicar el uso o importancia de una carretera y se expresa en número de vehículos por día.

Resultado del registro de volúmenes de tránsito en un punto, el TPDA obtenido tiende a ser representativo en un segmento de carretera, por lo que la escogencia del punto adecuado para localizar la estación requiere sumo cuidado y es fundamental para su validez y no resulten distorsionados por factores locales de generación de tráfico. Para la carretera León-Poneloya no se presentan rutas secundarias en toda su longitud, que representen competencia que resultase en alguna disminución en el flujo del tráfico.

Para este estudio es de suma importancia conocer el TPDA de la carretera en estudio y su tendencia de crecimiento y esto es a través con el volumen horario crítico previamente seleccionado que se pueden fijar las norma de diseños, dándose relaciones porcentuales que son habitualmente consistentes entre dichos volúmenes horarios que reflejan la capacidad de un tramo de carretera.

- El método más común para la Proyección de Tráfico es la ecuación siguiente:

$$\text{Ecuación 17 } TC = \left[ \left( \frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right] - 1$$
$$TC = \left( \frac{1281}{1002} \right)^{\frac{1}{5}} - 1 = 5\%$$

Tal y como se observa el cálculo de la tasa de crecimiento anual es de 5% con respecto del año 2007 hasta el 2012, año en que se realizó el aforo para efectos de este estudio.

#### 4.3.1 Análisis de Proyección de Tráfico.

El crecimiento futuro de los volúmenes de tráfico estimados para la carretera típicamente se expresa como valores porcentuales de crecimiento anual. Así, un crecimiento del N% anual significa que esta tasa de crecimiento se aplicará año tras año al volumen del año anterior. Consecuentemente el tráfico futuro (TF) en el año N, para una tasa dada de crecimiento (r) anual dada, se calcula como:

$$\text{Ecuación 18 } TF = TA * (1+r)^N$$

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

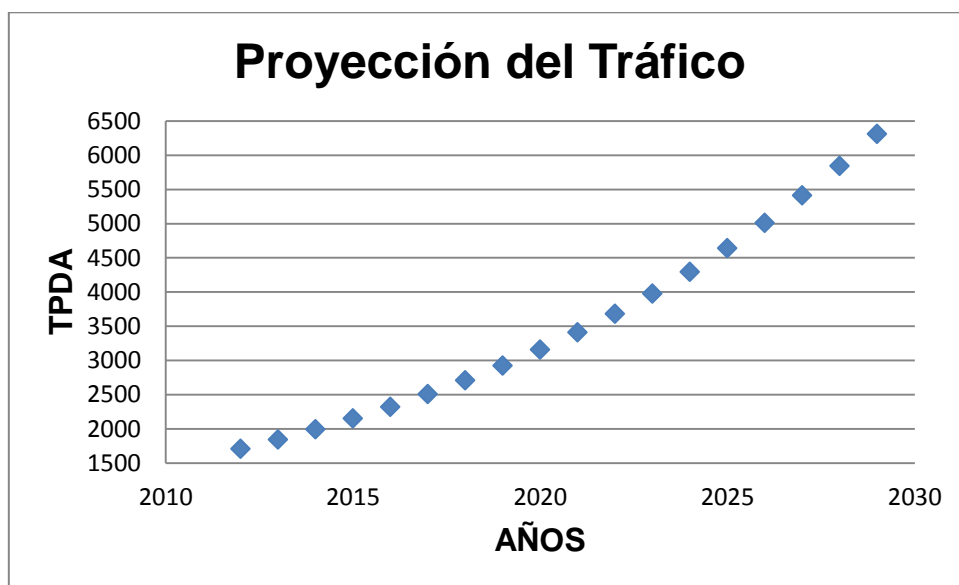
---

TA es el tráfico en el año cero a partir del cual se contabilizan los años N.

En el Informe Técnico de Tráfico del Proyecto se analizó la tendencia de la proyección del tráfico futuro, con una tasa de crecimiento del 8%, tomando el año 2012 como año base.

A continuación se expone la tendencia de Proyección del Tráfico calculado por el consultor, con una tasa de crecimiento del 8%:

**Grafica Nro. 7 Volúmenes Totales de Tráfico (TPDA) para cada año de análisis con tasa del 8% de crecimiento anual.**

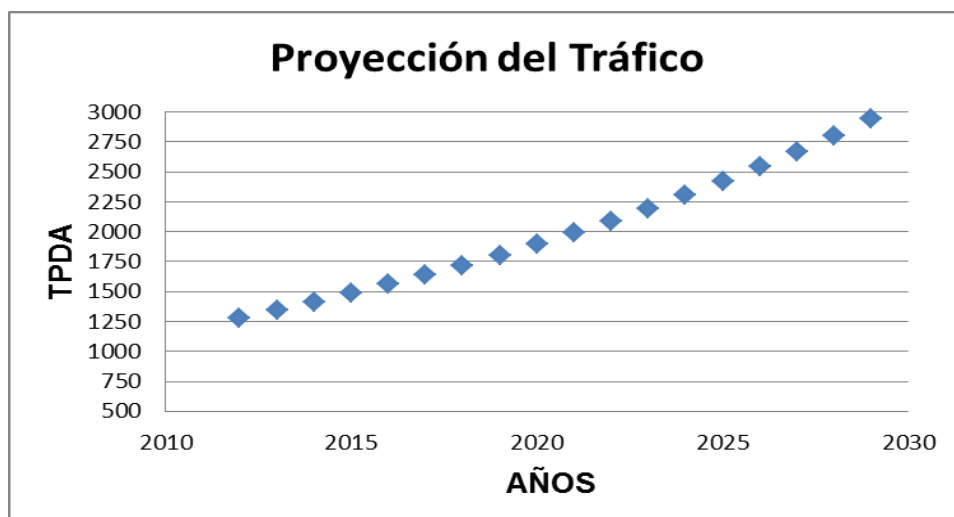


Fuente: Informe Técnico de Tráfico/CRM.

De la misma manera se graficará la proyección del tráfico con los datos de este estudio es decir, con la tasa de crecimiento vehicular y el TPDA calculado con los datos obtenidos en campo, los cuales se detallan a continuación:

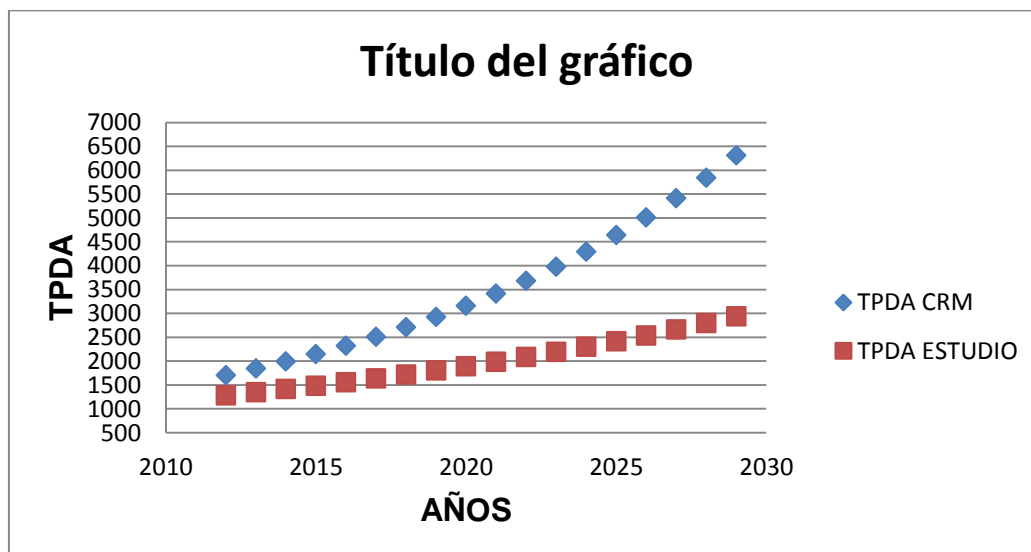
## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

**Grafica Nro. 8 Volúmenes Totales de Tráfico (TPDA) para cada año de análisis con tasa del 5% de crecimiento anual.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Grafica Nro. 9 Volúmenes Totales de Tráfico (TPDA) para cada año de análisis con tasa del 5% y 8% de crecimiento anual.**



Fuente: Elaboración Propia

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

Al analizar ambas gráficas, se observa que las tendencias de crecimiento muestran diferencias, esto en parte es debido a que las tasas de crecimiento tienen una diferencia de 37.5% y los TPDA también son distintos, por ejemplo, para el año 2013 el diseñador estimó que el TPDA tendría un valor de 1,842 vpd mientras que en este estudio, la proyección del tráfico para el año 2013 muestra un TPDA de 1,345 vpd, dando una diferencia de 26.98%. Por medio de estos datos, podemos ver el grado de acertación que tubo el diseñador a la hora de haber calculado su respectiva proyección, como es el caso del año 2012 que el diseñador proyecto un TPDA de 1,706 vpd y en este estudio el TPDA para el años 2012 fue calculado a través del aforo realizado en la vía y fue expandido con los factores de expansión que el Ministerio de Transporte e Infraestructura estimó para carreteras de uso turístico, dando como resultado un TPDA de 1,281 vpd para el año 2012, habiendo una diferencia de 24.91%.

En las siguientes tablas, se muestran los valores de las proyecciones del TPDA calculados por el consultor y las obtenidas a través de este estudio.



**” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esa’s) de la Carretera León –Poneloya”.**

---

**Tabla Nro.18 Volúmenes de tráfico (TPDA) para cada año del periodo de análisis.(CRM)**

Año	Tipos de Vehículos								Total
	Motos	Autos	Jeeps	Microbús	Bus	Liv. de Carga	C2	T3-S2	
2007	168	275	425	25	93	29	27	1	1038
2008	181	297	459	27	100	26	29	1	1121
2009	196	321	496	29	108	28	31	1	1211
2010	237	391	604	33	127	32	36	1	1462
2011	256	422	653	36	137	35	39	1	1579
2012	276	456	705	39	198	38	42	2	1706
2013	298	443	761	42	160	41	46	2	1842
2014	322	532	822	45	173	44	49	2	1990
2015	348	575	888	41	187	48	53	2	2149
2016	376	621	959	53	202	51	57	2	2321
2017	406	670	1036	57	218	56	62	2	2506
2018	438	724	1119	62	235	60	67	2	2707
2019	473	782	1208	67	254	65	72	3	2923
2020	511	844	1305	72	274	70	78	3	3157
2021	522	612	1409	78	296	76	84	3	3410
2022	596	985	1522	84	320	82	91	3	3682
2023	644	163	1644	91	346	88	98	4	3977
2024	695	1149	1775	98	376	95	106	4	4295
2025	751	1240	1917	106	403	103	115	4	4639
2026	811	1340	2070	1014	435	111	124	5	5010
2027	876	1447	2233	123	470	120	134	5	5411
2028	946	1563	2415	133	508	130	145	5	5840
2029	1021	1688	2608	144	549	140	156	6	6311

Fuente: Informe Técnico de Tráfico/CRM.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

**Tabla Nro. 19 Volúmenes de tráfico (TPDA) para cada año del periodo de análisis,  
(Datos de Campo).**

AÑO	TIPO DE VEHICULO												TOTAL
	motos	carro	jeep	camioneta	microbús	minibús	bus	liviano de carga	c2	c3	t3-s2	otros	
2012	183	420	30	258	244	2	45	40	30	1	1	27	1281
2013	192	441	32	271	256	2	47	42	32	1	1	28	1345
2014	202	463	33	284	269	2	50	44	33	1	1	30	1412
2015	212	486	35	299	282	2	52	46	35	1	1	31	1483
2016	222	511	36	314	297	2	55	49	36	1	1	33	1557
2017	234	536	38	329	311	3	57	51	38	1	1	34	1635
2018	245	563	40	346	327	3	60	54	40	1	1	36	1717
2019	257	591	42	363	343	3	63	56	42	1	1	38	1802
2020	270	621	44	381	360	3	66	59	44	1	1	40	1893
2021	284	652	47	400	379	3	70	62	47	2	2	42	1987
2022	298	684	49	420	397	3	73	65	49	2	2	44	2087
2023	313	718	51	441	417	3	77	68	51	2	2	46	2191
2024	329	754	54	463	438	4	81	72	54	2	2	48	2300
2025	345	792	57	486	460	4	85	75	57	2	2	51	2416
2026	362	832	59	511	483	4	89	79	59	2	2	53	2536
2027	380	873	62	536	507	4	94	83	62	2	2	56	2663
2028	399	917	65	563	533	4	98	87	65	2	2	59	2796
2029	419	963	69	591	559	5	103	92	69	2	2	62	2936

Fuente: Elaboración Propia.

### 4.4 Determinación de los Ejes Equivalentes de Carga.

En base a lo anteriormente calculado, se determinará el número acumulado de repeticiones de carga Esal que circulará por la vía durante su vida útil. Para determinar el Número Estructural de un proyecto de carretera, es determinante conocer el ESAL que circula por el tramo para un periodo de diseño establecido, esto debido a que ambos son directamente proporcionales es decir, entre mayor sea el Esal mayor será el Número Estructural requerido para la carretera.

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

---

Dentro del cálculo del Esal es importante conocer otras variables, de las cuales el Esal trabaja en función de ellas, las cuales son el TPDA respectivo de cada tipo de vehículo de carga, la Tasa de Crecimiento Anual, los Factores Equivalentes de Carga de los vehículos, el Periodo de Diseño o vida útil de la carretera, así como también los Factores de Distribución por Carril (L) y el Factor de Distribución de Dirección (D), los cuales tiene un valor de 1 y 0.5 respectivamente.

El cálculo del Esal se realiza a partir de los Factores Camión de cada uno de los vehículos pesados que utilizaran la carretera año tras año, durante la vida útil del proyecto, que se ha establecido en 20 años de acuerdo a los Términos de Referencia del proyecto.

A continuación se detalla el cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga Esal en función del TPDA y FC de los vehículos aforados.

**Tabla Nro.20 Calculo de los Ejes Equivalentes de Carga.**

Tipo de vehículo	FEC	TPDA	FC*TPDA
Bus	1.98	45	89.10
Liviano de Carga	0.063	40	2.52
C2	2.45	30	73.50
T3-S2	0.90	1	0.90
$\Sigma$			166.02

$$GY = \frac{(1 + 0.05)^{18} - 1}{0.05} = 28.13$$

$$ESAL = 166.02 * 28.13 * 1 * 0.5 * 365 = 852,301.02 + ESAL_{2011}$$

$$\therefore ESAL = 908,016.02$$

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### 4.4.1 Proyecciones de los Ejes Equivalentes.

Como parte del proceso de diseño de pavimentos, se requiere calcular el número de ejes equivalentes que deberá llevar la estructura del pavimento.

Anteriormente se calculó el Esal a través de la fórmula 8, pero para tener un cálculo más acertado, se debe hacer no solo la proyección del volumen total de todos los vehículos (Particularmente los de mayor peso) sino también elaborar hipótesis respecto al comportamiento futuro del movimiento de cargas en la valoración multidimensional:

- Marco regulatorio sobre cargas máximas permisibles (Totales y por Ejes).
- Cambios en la tecnología vehicular.
- Cambios en la composición de la flota vehicular.
- Vigilancia institucional para el control de cargas.
- Crecimiento en la demanda del transporte.

Este último aspecto está ligado al volumen proyectado de tráfico que se discutió en la sección 4.3.1. Excepto para estudios muy especializados, los tres primeros aspectos se toman como fijos, mientras que es en el cuarto aspecto donde el proyectista puede ejercitar con mayor margen su criterio profesional.

Para obtener un cálculo mas conservador del Esal, es necesario considerar el grado de sobrecarga de los vehículos, para efectos de este estudio se analizó el comportamiento de la carga de cada uno de los vehículos que fueron pesados, obteniendo los valores del Factor Camión para cada tipo de vehículo, datos que se encuentran resumidos en la siguiente tabla:

**Tabla Nro. 21 Factores Camión empleados en el cálculo de los Ejes Equivalentes.**

Tipo de vehículo	FEC
Bus	1.98
Liviano de Carga	0.063
C2	2.45
T3-S2	0.90

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

A continuación se presenta la proyección de Esal con respecto a cada año de la vida útil de la carretera, esto con el objetivo de obtener el valor del Esal a través de esta metodología, a la vez se hará una breve comparación del Esal obtenido con datos de este estudio vrs. el Esal calculado por el consultor:

**Tabla Nro.22 Proyecciones de los Ejes Equivalentes para el periodo de diseño (CRM)**

Año	Tipo de Vehículos					Total por día	ESALes/día	Ejes equivalentes/Año	Ejes equivalentes Acumulados
	MicroBús/Microbús> 15 Asientos	Autobús	C2 Liv	C2>5 Ton	T3S2				
2007									
2008									
2009									
2010	80	361	101	115	8	665	1101.57	201,036.35	201,036.35
2011	86	390	109	124	9	719	1189.69	217,119.26	418,155.62
2012	93	421	118	134	9	776	1284.87	234,488.80	652,644.42
2013	101	455	128	145	10	838	1387.66	253,247.91	905,892.33
2014	109	491	138	157	11	905	1498.67	273,507.74	1,179,400.07
2015	118	530	149	169	12	978	1618.57	295,388.36	1,474,788.43
2016	127	573	161	183	13	1056	1748.05	319,019.43	1,793,807.86
2017	137	618	174	198	14	1140	1887.90	344,540.98	2,138,348.85
2018	148	668	187	213	15	1231	2038.93	372,104.26	2,510,453.11
2019	160	721	202	230	16	1330	2202.04	401,872.60	2,912,325.71
2020	173	779	219	249	17	1436	2378.20	434,022.41	3,346,348.13
2021	186	841	236	269	19	1551	2568.46	468,744.20	3,815,092.33
2022	201	909	255	290	20	1675	2773.94	506,243.74	4,321,336.07
2023	218	981	275	313	22	1809	2995.85	546,743.24	4,868,079.31
2024	235	1060	297	339	23	1954	3235.52	590,482.70	5,458,562.01
2025	254	1145	321	366	25	2110	3494.36	637,721.32	6,096,283.33
2026	274	1236	347	395	27	2279	3773.91	688,739.02	6,785,022.35
2027	296	1335	375	426	30	2462	4075.83	743,838.14	7,528,860.49
2028	320	1442	405	461	32	2659	4401.89	803,345.19	8,332,205.69
2029	345	1557	437	497	34	2871	4754.04	867,612.81	9,199,818.50

MESAL = 9.200

Fuente: Informe Técnico de Tráfico/CRM.

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

**Tabla Nro.23 Proyecciones de los Ejes Equivalentes para el periodo de diseño.**  
**(Datos de Campo)**

AÑO	Tipo de Vehículo				Total x día	ESALes/año	ESALes acumulados
	Bus	Liviano	C2	T3-S2			
2010	39	37	28	0	148	27038	27038
2011	41	39	30	0	157	28678	55715
2012	45	40	30	1	166	30299	86014
2013	47	42	32	1	175	31947	117961
2014	50	44	33	1	184	33510	151470
2015	52	46	35	1	193	35159	186629
2016	55	49	36	1	201	36734	223362
2017	57	51	38	1	210	38384	261746
2018	60	54	40	1	221	40407	302153
2019	63	56	42	1	232	42419	344572
2020	66	59	44	1	244	44444	389016
2021	70	62	47	2	259	47277	436293
2022	73	65	49	2	270	49303	485596
2023	77	68	51	2	283	51690	537286
2024	81	72	54	2	299	54537	591823
2025	85	75	57	2	314	57373	649196
2026	89	79	59	2	328	59774	708970
2027	94	83	62	2	345	62984	771954
2028	98	87	65	2	361	65834	837788
2029	103	92	69	2	381	69505	907293

MESAL

0.907293119

Fuente: Elaboración Propia.

Al comparar el valor del Esal por medio de la fórmula con el valor calculado por la tabulación, se observa que el valor obtenido a través de la ecuación es más conservador, debido a que es 0.08% mayor, esto es importante resaltarlo para el cálculo del Número Estructural ya que el Esal es una variable determinante para la elaboración del diseño de la carretera.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

Algo muy importante de observar es que el valor de Esal calculado por el consultor es mucho mayor que el obtenido por medio de los datos de este estudio(9,200,000) vrs (908,016.02 ,eso es debido a que en el Esal utilizado en el proyecto se utilizaron los FC de la báscula de Mateare los cuales son mucho más elevados que los FC obtenidos en campo, también el consultor utilizó dentro de los vehículos de carga el Liviano de carga, lo que contribuye de forma directa en el aumento de los ejes equivalentes de carga.

**Tabla Nro.24 Comparación del Esal de la Cuenta Reto el Milenio y ESAL Estudio**

ESAL CRM	9200000
ESAL Estudio	908,016.02
Diferencia	90.13%

Fuente: Elaboración Propia.

### 4.4.2 Comparación del SN de la carretera León-Poneloya vs.SN del tramo Mateare-Empalme de Izapa.

Debido a que la carretera León-Poneloya se diseñó utilizando los valores del Esal de la carretera Mateare-Empalme de Izapa, se presume que la carretera León-Poneloya está sobre diseñada ya que el tramo Mateare-Izapa es una arteria de uso internacional y por ende el tráfico pesado es más abundante, contrario al de la carretera en estudio que es de uso turístico y en su tráfico predominan mas los vehículos livianos, por lo que se procederá a comparar los valores del Número Estructural de ambos, esto con el objetivo de eliminar la incertidumbre de su sobrediseño.

La siguiente comparación se basará en el Número Estructural calculado en el diseño original del proyecto que conforma la carretera Mateare-Izapa-León, cuyo número estructural  $SN=4^5$ , para un periodo de diseño de 20 años.

En el caso de la carretera León-Poneloya el Número Estructural SN calculado es igual a 4, lo que indica que esta carreta esta sobre diseñada ya que posee el mismo Número Estructural de la carretera Panamericana (Tramo Mateare-Izapa), debido a que el Esal en este tramo es mucho mayor que el Esal de la carretera en estudio.

<sup>5</sup> Documento Elaborado por la Dirección de Administración Vial-Unidad de Costos Unitarios, Elaborado en 1997.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

**Tabla N.ro25 Comparación del SN de la carretera León-Poneloya vs. SN de la carretera Mateare-Izapa.**

Tramo	SN
Mateare-Izapa	4
León-Poneloya	4

### 4.4.3 Cálculo del Número Estructural de la Carretera León-Poneloya en función del ESAL calculado.

Para realizar el cálculo del Número Estructural se utilizará el programa del Manual AASHTO-93 (Ecuación AASHTO-93), para eso es necesario conocer las siguientes variables:

1. Confiabilidad (R).
2. Desviación Estándar ( $S_o$ ).
3. Serviciabilidad Inicial.
4. Serviciabilidad Final.
5. Módulo Resiliente de la Subrasante ( $M_R$ ).
6.  $W_{18}$  ó Esal Calculado de la Carretera.

Para obtener el valor del Módulo Resiliente de la Subrasante, se hace uso de la ecuación siguiente:

$$\text{Ecuación 19} \quad M_R = B * \text{CBR}$$

En esta fórmula el valor de B será de 1500, cuando el CBR es menor del 10%.

El valor del soporte promedio de la subrasante obtenido del estudio de suelos presentado en el Informe Técnico de Geología y Geotecnia, es de un CBR de 7%, por tanto:

$$M_R = 1500 * 7 = 10,500 \text{ PSI}$$



## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

Para la obtención del Número Estructural para el Esal calculado, se utilizarán los siguientes valores<sup>6</sup>:

- Valor de Confiabilidad  $R=80\%$ .
- Coeficiente de Desviación Estándar  $S_o=0.45$ .
- Índice de Serviciabilidad Inicial  $P_o=4.2$ .
- Índice de Serviciabilidad Final  $P_f=2$ .

Una vez que se cuenta con estos valores, se procede a calcular el Número Estructural en función del Esal calculado, utilizando el programa Ecuación AASHTO-93.

**Tabla Nro.26 Cálculo del SN en función del Esal Calculado.**

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' window with the following data entered:

- Tipo de Pavimento:** ☒ Pavimento flexible, ☐ Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 80 %  $Z_r = -0.841$ ,  $S_o = 0.45$
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.2, PSI final = 2
- Módulo resiliente de la subrasante:**  $M_r = 10500$  psi
- Información adicional para pavimentos rígidos:** (Empty fields for  $E_c$ ,  $S_c$ ,  $J$ , and  $C_d$ )
- Tipo de Análisis:** ☒ Calcular SN, ☐ Calcular W18. **W18 =** 907293
- Número Estructural:** **SN =** 2.72
- Buttons:** Calcular, Salir

**Fuente: Elaboración Propia.**

Tal y como se observa en el cálculo el Número Estructural en función del Esal calculado resulta que el SN tiene un valor de  $SN=2.72$ . En la actualidad la carretera posee un número estructural de 4, lo que evidencia que se presenta un sobre diseño en el Número Estructural y es debido a que el Esal calculado por el diseñador es mayor que el calculado en este documento, producto que el diseñador utilizó los Factores Equivalentes de Cargas de el tramo Mateare-Empalme de Izapa, arteria que posee un tráfico pesado considerable, contrario al del tramo León –Poneloya que es una carretera de uso turístico y el tráfico que predomina es el de los vehículos livianos con un tránsito pesado casi inexistente.

<sup>6</sup> Datos Obtenidos del Informe Técnico de Pavimento, CRM.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

### 4.5 CALCULO DE LOS ESPESORES DE CADA UNA DE LAS CAPAS QUE CONFORMARA LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO CON UN VALOR DEL SN CALCULADO DE 2.75

Para el cálculo del Número Estructural Requerido para el Esal proyectado, se aplicaron los siguientes elementos:

- Valor de Confiabilidad R=80%.
- Coeficiente de Desviación Estándar  $S_o=0.45$ .
- Índice de Serviciabilidad Inicial  $P_o=4.2$ .
- Índice de Serviciabilidad Final  $P_f=2$ .
- Modulo Resiliente de la Sub-Rasante  $M_r$ : 10,500 psi.
- Esal:907,293.11

Por tanto, el valor del SN Requerido es de 2.72

Ecuación a usarse para el cálculo de la estructura propuesta:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_{3...}$$

#### **Coeficientes Estructurales:**

Los valores de los Coeficientes Estructurales utilizados para el diseño de los espesores de capas del pavimento fueron tomados considerando los materiales disponibles para el proyecto que fueron analizados en el Informe Técnico de Pavimento de la Cuenta Reto del Milenio, siendo estos los siguientes:

**Tabla Nro.27 Coeficientes Estructurales correspondientes para cada capa del paquete estructural.**

CAPAS	Coeficiente Estructural (a)
Concreto Asfáltico	0,41
Base de Grava Triturada	0,14
Sub Base Granular	0,12

Fuente: Elaboración Propia.

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

### Coeficientes de Drenabilidad:

Los valores del Coeficiente de Drenabilidad aplicados para cada capa se han seleccionado de acuerdo al siguiente cuadro:

**Tabla Nro.28 Valores de los Coeficientes de Drenabilidad.**

Calidad de Drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura está expuesta a humedad que se aproxima a la saturación			
	< 1%	1 – 5%	5 – 25%	> 25%
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy Pobre	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Fuente: Manual SIECA.

En el caso de la Base y la Sub- Base, se considero un valor de 1.00 en vista que a este tramo se le mejoro el sistema de drenaje, por lo que su calidad de drenaje deberá ser como mínimo bueno.

A continuación se detalla el cálculo del SN y los espesores de capas de la estructura del pavimento en función de cada una de estas variables:

**Tabla Nro.29 Calculo del SN y Espesores de Capa**

Capas	Espesor D en cm	Coeficiente de Drenaje m	Coeficiente Estructural (a)	SN en cm	SN en pulgadas
Concreto	7,5	N/A	0,41	3	1,21
Asfáltico					
Base de Grava	15	1	0,14	2,1	0,8267
Triturada					
Sub- Base Granular	15	1	0,12	1,8	0,71
	40.00			Suma(SN calculado)	2,75

$$SN^* (Calculado) \geq SN(Requerido)$$

$$2.75 \geq 2.72 \therefore \text{Cumple}$$

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

### Calculo del SN requerido por medio del programa PAS5

C:\Users\Kenny\Desktop\PAS5\PAS.EXE

Pavement Design and Evaluation Ready 12-01-2012

**FLEXIBLE PAVEMENT THICKNESS DETERMINATION**

Layer Number	Layer(*) Coefficient = a <i>=	Drainage Coefficient = m <i>=	Layer Thickness = t	a<i>*Cd*t	Additional Thickness Needed
Upper	0.40	1.00	2.95	1.18	
2	0.14	1.00	5.91	0.83	0.02
3	0.12	1.00	5.91	0.71	
4					
5					
6					

SN Required = 2.72 <Ok>

UNITS  
Inches

F1:Help F2:List(\*) F10:Clr Field Esc:Back F8:Report ALT-X:Exit

Fuente: Elaboración Propia.

Por tanto, los espesores de cada una de las capas que conformaran la estructura del pavimento quedaran con las siguientes dimensiones:



Fuente: Elaboración Propia.

# Conclusiones y Recomendaciones.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### CONCLUSIONES

1. Se llevo a cabo el conteo respectivo de la carretera en estudio y se estimo su Trafico Promedio Diario Anual (TPDA) que es de 1,281 vehículos para el año 2012 en comparación con la estimada por la CMR que es de 1,706 vehículos, dando una diferencia del 24.91% .En función de su trafico real, se obtuvo el cálculo de la tasa de crecimiento que en nuestro estudio es del 5% en cambio la de CRM obtuvo una tasa del 8% dando una diferencia del 37.5%.
2. Se constato que del 100% de la muestra aforada el 85.0% corresponden a los vehículos livianos, el 6.00% vehículos pesados, los cuales se limitan al tipo C2 y Buses de pasajeros y un 10.0% a otros tipos de vehículos.
3. Se realizo el pasaje a cada uno de los vehículos de carga de la muestra aforada por medio de la Báscula móvil, obteniendo los siguientes datos.
  - ✓ Buses: Al comprar con los vehículos del tipo C2 solo el 10.88 % que corresponde a 5 unidades sobrepasan el peso máximo permitido por este que es de 15,000 Kg en ambos ejes.No se puede asegurar que los buses circulan con sobre peso, para afirmarlo es necesario normarlo y hacer efectivo su control de peso.
  - ✓ Livianos de carga: El número de vehículos fueron 5 y se evidencia que no llevan cargas significativamente grandes.
  - ✓ C2: Ningún camión presento exceso de carga al momento de transitar por la vía.
  - ✓ T3-S2: casi inexistente en la zona y con una muestra de vehículos y sus pesos correspondientes eran menores 37,000kg (peso permisible).
4. Se obtuvo el Esal's de la carretera en estudio de acuerdo a cada uno de sus peso obtenidos. El Esal's calculado es de 908,016.02 repeticiones, que evidentemente es menor que el Esal's calculado por el diseñador que es de 9, 200,000 repeticiones.
5. Al observa el calculo del SN en función del Esal calculado, resulta que el SN tiene un valor aproximado de 2.72 y en la actualidad la carretera posee un SN de 4, lo que evidencia que se presenta un sobrediseño en el Número Estructural de la carretera.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### RECOMENDACIONES

- Ubicar una bascula para el control de pesos y dimensiones de los diferentes vehículos de cargas que circulan por las carreteras de uso turístico, que conlleve a una mejor estimación de la capacidad estructural. Para la carretera León-Poneloya se recomienda ubicarla en los primeros 3 kilómetros del tramo carretero, esto debido a que el mayor flujo de vehículos transitan en esa zona.
- Se recomienda realizar conteos de tráfico por medio de una Estación de Mayor Cobertura que permita reducir el error en la estimación del TPDA y de los ESAL de diseño al momento de una rehabilitación.
- Actualmente para expandir el trafico de una carretera de uso turístico es necesario la utilización de los Factores de Expansión de la carretera San Marcos- Masatepe, pero esta carretera es de uso urbano y no de uso turístico por lo que es recomendable ubicar una estación de Mayor Cobertura en carreteras de uso turístico y calcular los diferentes Factores de Expansión en función del trafico real para este tipo de vías, para obtener mejores estimaciones del TPDA.
- Utilizar los factores de carga a partir de muestreos de pesos que permita una mejor proyección de las solicitudes del tráfico, que se expresa en un dimensionamiento estructural más económico.
- Debido a que el cálculo del Esal se realizo en la estación 19+200 (2 kilómetros de la costa de Poneloya), es recomendable realizar el cálculo del Esal para los otros 2 puntos de la carretera, esto debido a que en el proyecto original se dividió en tres diferentes zonas de estudio, los cuales presentan flujos de trafico diferentes, siendo mayor en los primeros 3 km en el sentido León a Poneloya.
- Cabe destacar que los 3 primeros kilómetros presentan no solo un mayor tráfico, sino también un mayor volumen de tráfico pesado, particularmente buses y por ende el Esal correspondiente para esa zona es el que contiene mayor número de repeticiones, contrario al de la estación 19+200 que es el correspondiente a la zona de menor tráfico pesado, sin variar en la cantidad de buses entre ambas zonas.
- Se recomienda dar seguimiento y monitoreo del comportamiento del TPDA a fin de estudiar el crecimiento del tráfico, incluir encuestas de origen y destino para medir el impacto del desarrollo socioeconómico que fue impulsado con diferentes proyectos complementados por la Cuenta Reto del Milenio.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

---

- Incluir la carretera León – Poneloya en los programas de mantenimiento periódico y rutinario de la institución que por ley corresponde al Fondo de Mantenimiento Vial (FOMAV), para conservar el valor del patrimonio que se suma a la red vial nacional, con la rehabilitación de esta carretera.



## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### ABREVIATURAS

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportations Officials, (Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Tránsito).

**ESAL'S:** Equivalent Axial Load, (Ejes Equivalentes de Cargas.)

**FEC:** Factor Equivalente de Carga (Factor de Daño).

**IRI:** International Roughness Index (Índice Internacional de Rugosidad)

**Kips:** Kilo libras.

**KM:** Kilometro

**KN:** Kilo Newton.

**LEF:** Load Equivalent Factor.

**MTI:** Ministerio de Tránsito e Infraestructura

**P<sub>0</sub>:** Índice de Serviciabilidad Inicial.

**PMS:** Sistema de Administración de Pavimento.

**ΔPSI:** Present Serviceability Index (Índice de Serviciabilidad Presente)

**P<sub>t</sub>:** Índice de Serviciabilidad Final.

**SIECA:** Secretaría de Integración Económica Centroamericana.

**SN:** Structural Number (Número Estructural).

**TPDA:** Tránsito Promedio Diario Anual.

**Wt<sub>18</sub>:** Carga de 18 Kips

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

### GLOSARIO DE TERMINOS

**Aforo:** Conteo volumétrico de la cantidad de vehículos que circulan por un determinado punto de una carretera.

**Caminos de Estación Seca (De Verano):** Caminos sin ningún diseño geométrico, carecen de drenaje por lo que el tráfico queda interrumpido en época de lluvia, la superficie de rodamiento la constituye el terreno natural y carece de material de recubrimiento.

**Caminos de Todo Tiempo:** Su trazado geométrico no ha sido diseñado, se ajusta más que todo a la topografía del terreno, permiten la circulación de tráfico todo el año y la superficie de rodamiento es de material selecto de 15 cm de espesor como mínimo.

**Caminos Pavimentados:** Construidos plenamente desde el punto de vista de ingeniería la superficie de rodamiento está formada por capas de concreto asfáltico, concreto hidráulico o adoquines.

**Caminos Revestidos:** Aquellos cuyo trazado geométrico ha sido reservado bajo normas de ingeniería. La superficie de rodamiento esta formada por capas de material selecto cuyo espesor mínimo es de 25 cm.

**Carpeta y/o Superficie de Rodamiento y/o Rodadura:** La parte superior de un pavimento, por lo general de pavimento bituminoso o rígido, que sostiene directamente la circulación vehicular.

**Carretera, Calle o Camino:** Un calificativo general que designa una vía publica para fines de tráfico de vehículo, y que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de vía.

**Daños:** Desperfecto ocurrido en la superficie de una carretera debido a los efectos de clima y tránsito.

**Deflexiones:** Desplazamiento vertical temporal de un pavimento proveniente de la aplicación de cargas de las ruedas de los vehículos.

**Estación Permanente:** Lugar donde se realizan aforos dos veces al año durante 24 horas con el fin de conocer la inanidad del tráfico durante los periodos de verano e invierno en todo el año. Estas estaciones permiten un conocimiento de las variaciones típicas de tráfico (estacionales, semanales, diarias) y de la frecuencia de las intensidades horarias a lo largo del año, así como la obtención de las tendencias de tráfico a largo plazo.

**Estaciones de Control:** Tiene por objeto conocer las variaciones diarias, semanales y estacionales para establecer unas leyes que puedan aplicarse a un grupo de estaciones similares o afines. Estas estaciones se realizan en caminos adoquinados y asfaltados en este se efectúan conteos una vez al año.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---

**Estaciones Sumarias:** En este tipo de estaciones se realiza como mínimo un aforo anual durante 12 horas diarias en periodos de tres días, generalmente en todo el transcurso del año y se efectúan en épocas de verano y/o invierno.

**Mantenimiento:** Conjunto de tareas de limpieza, remplazado y reparación que se realizan de manera regular y ordenada en una carretera, para asegurar su buen funcionamiento y la prolongación de su vida de servicio al máximo, compatible con las previsiones de diseño de la construcción de la obra.

**Mejoramiento:** Ejecución de las actividades constructivas para dotar a una carretera existente, en buen, regular o mal estado, de mejores condiciones físicas y operativas de las que disponía anteriormente ,para ampliar su capacidad o simplemente un mejor servicio al usuario.

**Pavimento:** Estructura integral de las capas de subrasante, subbase, base y carpetas colocadas encima de la rasante destinada a sostener las cargas vehiculares.

**Reconstrucción:** Trabajo mayor de rehabilitación de una carretera en mal estado, para restablecer sus condiciones físicas a un mejor nivel de servicio, al que fue construida anteriormente.

**Red Vial Básica Mantenible:** Conjunto de vías que el MTI prioriza para realizar proyectos de inversión tanto de mantenimiento como de rehabilitación.

**Rehabilitación:** Ejecución de las actividades constructivas necesarias para restablecer las condiciones de la carretera a su situación como fue construida originalmente.

**Rugosidad:** Desviación vertical del perfil de un pavimento de su forma tal como fue diseñado y que resulta en incomodidades en el manejo del vehículo. Por lo general, la rugosidad se mide para fines de mantenimiento vial por medio del IRI.

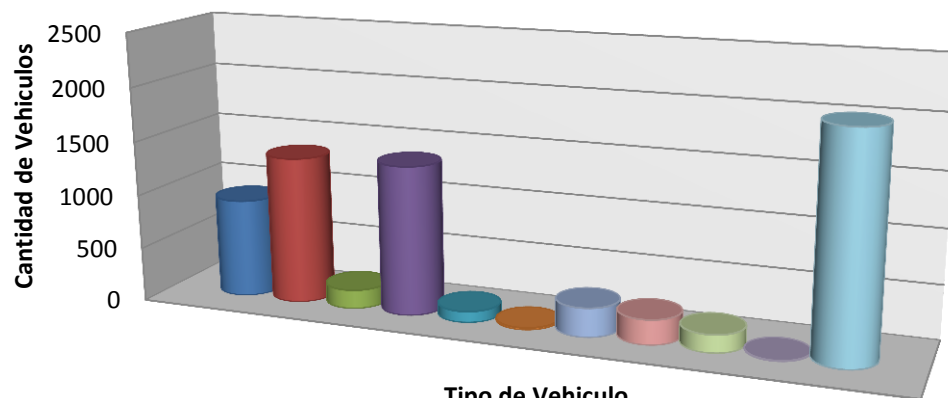
**Tasa de Crecimiento:** Es la comparación entre el año actual y los anteriores con el objeto de visualizar la población en el área de estudio en términos de número.

**Tránsito:** Circulación de personas y vehículos por calles, carreteras, etc.

**ANEXOS**

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

**Grafica 10 RESUMEN DE AFORO**



	Total
Suma de Moto	912
Suma de Carro	1358
Suma de Jeep	174
Suma de Camioneta	1379
Suma de MicBus	102
Suma de MinBus	18
Suma de Bus	266
Suma de C2L	227
Suma de C2	163
Suma de T-S=>5	6
Suma de Otros	2026

**” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.**

Ministerio de Transporte e Infraestructura																				
Hoja Auxiliar de Campo																				
Estacion :		109+200		Tipo:			Semana del								al					
Ubicacion Km:							Dia		Martes		Fecha 21/02/12			Sentido						
Localizacion:							Contador		Vanessa Campos					Leon - Las peñitas poneloya						
hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros													Equipo Pesado		Otros	total		
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv carga	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC				
6-8 am	5	1		2			1										8	14		
	3	2	2	4			2		2								6	17		
8-10 am		7	3	6	1		1		3								7	26		
	3	5		6	1		1		4								6	26		
10- 11 am	6	5	6	5		1	1										7	23		
		5		1	1				1								7	15		
11-12 pm	7	5	8	6			2										14	32		
				8		2											18	26		
12-1 pm	3	3	7	5	1		1										15	28		
																	9	9		
1-2 pm	7	9	4	7	1		1		1								8	30		
				5		1											9	14		
2-3 pm	4	6	5	10	1		1		2								6	28		
																	7	7		
3-4 pm	4	7	9	9			3										6	34		
					1												7	7		
4- 5 pm		5		8	2		1										4	18		
																	4	4		
5- 6 pm	8	6	7	9			1										5	26		
									2									2		
Sub - total																		0		
																		0		
Total	50	66	51	91	9	4	16		15	0	0	0	0	0	0	0	153	455		

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

Estacion :109+200		Tipo:		Semana del: 21		al 27 de Febrero													
Ubicacion Km:		Dia:		martes		Fecha:21/02/12				Sentido:Poneloya-Leon									
Localizacion:Leon		Contador:Kenney Morales																	
Hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros					Vehiculos de Carga										Equipo pesado		Total
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv de C.	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VA	VA	otros	
06-07am	3	2	1	2			1											5	11
07-08am	7	4		8			2	1	1									9	22
08-09am	5	5		12	1		1		1									3	21
09-10am	5	4	5	4			1		3									9	25
10-11am	5	6	1	15	2		1		1									13	30
11-12am	5	9	2	18			1	1	1									7	28
12-01pm	4	3	4	8	3		1	2	3									12	38
01-02pm	7	3	3	9			1	3										8	35
02-03pm	3	9	3	12			3	5				1						1	29
03-04pm	5	8	4	11			2	7	3									7	45
04-05pm	7	2	3	12			2											13	31
05-06pm	9	12	3	13			2	2										4	37
total	65	67	29	124	6		18	21	13			1						91	344

Tabla de Resultados																			
Moto	Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	liviano de ca	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC	bicicletas	TOTAL		
115	133	80	215	15	3	34	21	28	0	0	1	0	0	0	0	0	153	798	

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

Ministerio de Transporte e Infraestructura																			
Hoja Auxiliar de Campo																			
Estacion :		Tipo:				Semana del				al									
Ubicacion Km:						Dia		Miercoles		Fecha				Sentido					
Localizacion:						Contador													
Hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros						vehiculos de carga						Equipo Pesado		Bicicletas	Total		
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv de C.	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA			VC	
6-8 am	8	6		9			3	1			1						12	40	
	2	7		8	1		1	2									10	31	
8-10 am	6	3		10			2	3	3	1							8	36	
	4	7		7			4	1	2								4	29	
10- 11 am	5	4	7	5	1		3	1	3								6	29	
	5	3		6	1			3									6	24	
11-12 pm	2	7	8	5	2		1	1	1								18	40	
				9			1										10	15	
12-1 pm	2	5	1	9			2	1	1								20	41	
	3	4	2	7	1		1	2	2								15	37	
1-2 pm	4	3	3	4	2		2	1	1								16	34	
	1	5	1	8				2	2								7	21	
2-3 pm	2	9	1	8				1									9	30	
	4	10	1	5			1	2	2								4	29	
3-4 pm	5	3		3			3										2	16	
		2	7	2													8	12	
4- 5 pm	10	4		5			1	1	1								2	24	
		3		7													6	12	
5- 6 pm	3	3	8	4				1									4	15	
		3		5													6	14	
Sub - total																		0	
																		0	
Total	66	91	39	126	8	0	26	22	18	1	1	0	0	0	0	0	173	571	



## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

Ministerio de Transporte e Infraestructura																			
Hoja Auxiliar de Campo																			
Estacion :109+200						Tipo:		Semana del: 21 al 27 de Febrero											
Ubicacion Km:						Dia		miercoles		Fecha: 26/02/12									
Localizacion:Leon						Contador:Kenney Morales									Sentido: Poneloya-Leon				
Hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros					Vehiculos de Carga								Equipo pesado			Total	
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv de C.	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC	otros		
06-07am	5	6	5	5			1	3	1									7	29
07-08am	2	3	4	7	1		1											4	15
08-09am	4	3		7			2	2	1									5	24
09-10am	7	1	6	6			1		1	1								7	18
10-11am	5	7	4	11			2	2	1									10	39
11-12am	6	6		9	1	2	2		3									15	44
12-01pm	3	5	6	7			1	1										9	26
01-02pm	3	4	4	10	1		2	6	1									9	36
02-03pm	8	12		8			2		3									15	40
03-04pm	3	8		12		1	2	2	4									10	42
04-05pm	6	16	1	5			2	1	1									12	41
05-06pm	2	3		5	1	1	1	1	1									1	14
total	54	74	30	92	4	4	19	18	17	1	0	0	0	0	0	0	0	104	417

Tabla de Resultados																	
Moto	Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	liviano de ca	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC	Otros	TOTAL
120	165	69	218	12	4	45	40	35	2	1	0	0		0	0	277	988

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

Ministerio de Transporte e Infraestructura																			
Hoja Auxiliar de Campo																			
Estacion :		Tipo:		Semana del										al					
Ubicacion Km:				Dia Jueves										Fecha		Sentido			
Localizacion:				Contador															
Hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros						vehiculos de carga						Equipo Pesado		Bicicletas	Total		
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv de C.	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA			VC	
6-8 am	6	2		3			2	1									7	21	
	8	3	5	4	1		2		1								20	40	
8-10 am	6	8		6	1		2	1	3	1							23	51	
	17	16	4	16			2	1	1								11	61	
10- 11 am	3	2	1	10			2	2	2								7	29	
				8													7	10	
11-12 pm	9	13	1	8	2		3	2	3								9	50	
								2									9	11	
12-1 pm	6	6	1	9	1		2	3									5	30	
																	6	6	
1-2 pm	6	10		6			3										8	33	
			6														8	8	
2-3 pm	8	8		15	2		1										3	37	
				11													2	2	
3-4 pm	6	11					1	3									6	37	
			7	6													4	4	
4- 5 pm	9	12		7	2		1	2									5	34	
				9													5	5	
5- 6 pm	3	2	7	4			1	1	1								6	18	
																	5	5	
Total sin bicicleta			3	7														0	
Total	87	93	35	129	9	0	22	18	11	1	0	0	0	0	0	0	156	561	

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

Ministerio de Transporte e Infraestructura																		
Hoja Auxiliar de Campo																		
Estacion :109+200		Tipo:					Semana del:21 al 27 de Febrero											
Ubicacion Km:							Dia		jueves		Fecha:23/02/12					Sentido:Poneloya-Leon		
Localizacion:Leon							Contador:Edgard Orozco											
Hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros					Vehiculos de Carga								Equipo pesado			Total
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv de C.	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC	Bicicleta	
06-07am	5	3		3			2										12	25
07-08am	1	2		4			3										6	15
08-09am	6	3	1	5			1	1	3			1					10	27
09-10am		7	5	8	2		2	2	3								9	33
10-11am	16	10	6	10			1										12	49
11-12am	1	13		14			3	6									19	56
12-01pm	2	7	9	8			1	5									10	31
01-02pm	5	4	2	16			2	2	1								13	36
02-03pm	3	10	1	12	2		3	2									10	45
03-04pm	12	8		11	1			1	2								12	47
04-05pm	6	2	8	7			1	1									9	22
05-06pm	4	4		5			1	2									16	30
Total	61	73	32	103	5	0	20	22	9	0	0	1	0	0	0	0	138	464

Tabla de Resultados																
Moto	Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	liviano de ca C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC	bicicletas	TOTAL
148	166	67	238	46	9	42	40	20	1	0	1			0	294	1072

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

Ministerio de Transporte e Infraestructura																						
Hoja Auxiliar de Campo																						
Estacion :		Tipo:		Semana del										al								
Ubicacion Km:				Dia										Viernes		Fecha		Sentido				
Localizacion:				Contador														Leon- Las peñitas poneloya				
Hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros						vehiculos de carga								Equipo Pesado		Bicidetas	Total			
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv de C.	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC						
6-8 am	2	2		3			1	1	1								4	13				
	1	3	4	7			1	2	1								6	17				
8-10 am	2	6		11	1	1	1	4	4								4	34				
	3	5	6	14	1		1		1								3	17				
10- 11 am	3	5	1	8				3							1		3	21				
	3	4		9			1	3	1								4	19				
11-12 pm	4	5	1	8			1	3	2								12	33				
	2	3	6	14			1										8	17				
12-1 pm	7	5	8	9	1		1	3	1								22	37				
	3	1	5	15				2									15	21				
1-2 pm	3	7	2	12	1	1	2	1	1								12	32				
	2	3	8	15													15	24				
2-3 pm	6	6	2	12		1	2	1									5	20				
	5	5	1	9				1									3	17				
3-4 pm	8	3	6	11		1	1		1								5	20				
	2	5	11	13				1	1								7	17				
4- 5 pm	8	1	8	9		2	1	2	2								5	20				
	5	5	7	8	1				1								8	22				
5- 6 pm	3	2	8	14	2		1	1	1								6	19				
	4	1	12	14			1	1	2								3	19				
sin bicicleta			7	11														0				
			5															139				
Total	76	77	108	226	7	6	16	29	20	0	0	0	0	0	0	1	0	150	716			

## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

Ministerio de Transporte e Infraestructura

Hoja Auxiliar de Campo

Estacion : 109+200				Tipo:			Semana del: 21								al 27 de Febreo						
Ubicacion Km:							Dia		viernes		Fecha: 24/02/12					Sentido:Poneloya-Leon					
Localizacion:Leon							Contador:Edgard Orozco														
Hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros					Vehiculos de Carga								Equipo pesado			otros	Total		
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv de C.	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC	Bicicleta				
06-07am	4	2		6			2	1										7	23		
07-08am	5	2	6	15			3											11	25		
08-09am	5	2	7	15			2	1	2	1								6	29		
09-10am	6	7	4	12		1	2	2	1						1			6	32		
10-11am	5	11	2	13			3	5	3									12	46		
11-12am	7	6	12	10			3	3										4	26		
12-01pm	4	6	10	12	1		2	1	1									16	41		
01-02pm	8	6	4	12	1		2	1	3									6	37		
02-03pm	5	8	8	14	1		2	1	1									9	31		
03-04pm	2	7	8	13			2		1			1						26	50		
04-05pm	9	5	12	12	1		2	1	2									15	43		
05-06pm	4	6	10	7			1	1										3	17		
total	64	72	83	141	4	1	26	17	14	1	0	1	0	0	1	0	121	546			

### Tabla de Resultados

Moto	Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	liviano de ca C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC	bicicletas	TOTAL
140	149	191	365	49	9	42	46	34	1	0	1			2	271	1300

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

Ministerio de Transporte e Infraestructura																			
Hoja Auxiliar de Campo																			
Estacion : Tipo:							Semana del al												
Ubicacion Km:							Dia Sabado Fecha								Sentido				
Localizacion:							Contador Vanessa Campos									Leon - Las Peñitas Poneloya			
Hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros						vehiculos de carga							Equipo Pesado		Bicicletas	Total	
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv de C.	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC			
6-8 am	3	2		1			1								1		6	14	
	3	1	5	4	1		2	2	1								10	24	
8-10 am	6	2	1	10	1		3	1	1								21	46	
	6	6		12		1	1	1	3								11	37	
10- 11 am	6	11	6	5	1			3	1								2	29	
	6	4		12			1										4	31	
11-12 pm	7	4	1	10	1		1	2									10	29	
	7	6	4	8			1	2									8	28	
12-1 pm	4	10	3	15			1	3	1								15	40	
	5	13	8	11													10	33	
1-2 pm	7	12	1	8	1		1	2	2								14	48	
	2	5	7	9				1									6	28	
2-3 pm	2	5	1	10	3		1										6	28	
	5	6	12	10	1				1								5	27	
3-4 pm	2	11	7	5	1		1	1				2					3	26	
	2	8	6	3	1												8	27	
4- 5 pm	3	11	8	5	1		1	1									5	32	
	2	5	8	12	1				1								12	35	
5- 6 pm	1	12	9	11	1		1	1									15	51	
	6	6	5	11													12	35	
Sub - total	4		7	8															
			8	8															
Total	89	140	107	188	14	1	16	20	11	0	0	2	0	0	1	0	183	772	

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

Ministerio de Transporte e Infraestructura

Hoja Auxiliar de Campo

Estacion :109+200	Tipo:	Semana del: 21	al 27 de Febrero			
Ubicacion Km:		Dia sabado	Fecha:25/02/12		Sentido: Poneloya-Leon	
Localizacion:Leon		Contador:Kenney Morales				

Hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros					Vehiculos de Carga								Equipo pesado			Total
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv de C.	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC	otros	
06-07am	6	2	6	2			1										11	17
07-08am	5	2	7	8			2										15	26
08-09am	5	5	9	10	1		1		1	1							20	41
09-10am	1	8	6	9		1	1	3	4								16	45
10-11am	8	11	8	12			1	1									21	50
11-12am	7	11	9	9			2	5									10	44
12-01pm	7	13	11	12		1	2	6									13	52
01-02pm	8	14	6	10	2	1	2	3									20	50
02-03pm	4	9	4	11	2	1	2	3									20	61
03-04pm	1	12	8	12			1		1			1					17	49
04-05pm	4	15	5	20			2	1	2								28	95
05-06pm	6	7	4	3			1	1									12	28
total	62	109	83	118	5	4	18	23	8	1	0	1	0	0	0	0	203	635

## Tabla de Resultados

Moto	Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	liviano de ca C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC	bicicletas	TOTAL
151	249	190	346	58	9	34	43	19	1	0	3			1	386	1490

**” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s)  
de la Carretera León –Poneloya”.**

Ministerio de Transporte e Infraestructura																		
Hoja Auxiliar de Campo																		
Estacion :		Tipo:		Semana del										al				
Ubicacion Km:				Dia		Domingo		Fecha				Sentido						
Localizacion:				Contador										León - Poneloya				
Hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros						vehiculos de carga						Equipo Pesado		Bicicletas	Total	
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv de C.	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA			VC
6-8 am	3			2			1										6	12
	6	3	5	2			1										8	20
8-10 am	6	5	3	2			1										7	21
	10	20	3	17	3		1	2	1								22	79
10- 11 am	9	15	5	10			1										13	51
	6	11	5	18	1												5	42
11-12 pm	10	17	6	15	1	1	1	1									8	57
	10	17	3	7	1												15	53
12-1 pm		12	7	15			1										22	50
		8	4	3													6	17
1-2 pm	10	15	6	7			1										15	48
	5	5	6	6					4								15	41
2-3 pm	8	12	6	8	1		3	3			1						8	44
	9	8		8													8	33
3-4 pm	10	15	2	20	1		1		1								7	57
	5	10	2	12				1									3	33
4- 5 pm	6	8	6	4	1		1										6	26
	4	4	6	6													8	22
5- 6 pm	8	3	2	3			1										15	30
	3	2	6	2													9	16
sin bicicleta			8															
Total	128	190	91	167	9	1	14	7	6	0	1	0	0	0	0	0	206	820



## " Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

Ministerio de Transporte e Infraestructura

Hoja Auxiliar de Campo

Estacion :109+200	Tipo:	Semana del: 21	al 27 de Febrero			
Ubicacion Km:		Dia domingo	Fecha: 26/02/12			
Localizacion:Leon		Contador:Kenney Morales		Sentido: Poneloya-Leon		

Hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros					Vehiculos de Carga								Equipo pesado			Total
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv de C.	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC	otros	
06-07am	3	12	1	3			3										15	37
07-08am	4	5	8	5	1		3										14	33
08-09am	5	6	8	6	2		1	1									8	30
09-10am	2	7	9	5	1		1	1									22	39
10-11am	3	7	12	13			1	1									33	65
11-12am	8	11	5	14	1		2	1									25	63
12-01pm	13	5	12	11			2										24	55
01-02pm	7	17	6	12			1	1									5	47
02-03pm	11	21	6	20			1										13	67
03-04pm	12	14	5	46	2		1	1	1								36	126
04-05pm	15	5	8	18	1		2	1	1								20	75
05-06pm	7	3	4	7	2		1										12	33
total	90	113	84	160	10	0	19	7	2	0	0	0	0	0	0	0	227	712

### Tabla de Resultados

Moto	Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	liviano de ca C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC	bicicletas	TOTAL
218	303	175	357	49	6	33	14	8	0	1	0			0	433	1597

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

Ministerio de Transporte e Infraestructura																				
Hoja Auxiliar de Campo																				
Estacion :			Tipo:				Semana del								al					
Ubicacion Km:							Dia		Lunes		Fecha 27 Febrero 2012					Sentido		León - Las peñitas poneloya		
Localizacion:							Contador													
Hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros						vehiculos de carga							Equipo Pesado		Bicicletas	Total		
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv de C.	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC				
6-8 am	2						1										5	8		
	7	2	1	2	1		1										9	16		
8-10 am				7			1	2									6	9		
	4		2	7			1										8	15		
10- 11 am	5	5	2	9	1		1	2	1								6	21		
	6	3		5													8	17		
11-12 pm	8	4	4	9			1	2	1								8	37		
	9	5		6	1												8	29		
12-1 pm	6	5	1	9	1		1										35	51		
	5	3		3	1			1	2								10	25		
1-2 pm	1	3	3	8	2		1										3	23		
	3	6		2				2									4	17		
2-3 pm	5	2	5	5	1		1										6	25		
	4	8	3	5				1									4	20		
3-4 pm	3	6	7	12			1	1									2	15		
	9	4	4	8														9		
4- 5 pm	2	1		3			1	1									2	10		
	6	3	7	3													3	7		
5- 6 pm	2	5		8	1		1										3	12		
	8	2	2	8													1	5		
Sub - total	7			9																
	3			4														240		
Total	105	67	41	132	9	0	12	12	4	0	0	0	0	0	0	0	131	513		

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

Ministerio de Transporte e Infraestructura																							
Hoja Auxiliar de Campo																							
Estacion : 109+200						Tipo:						Semana del: 21 al 27 de febrero											
Ubicacion Km:						Dia: Lunes						Fecha: 27/02/12						Sentido:Poneloya-Leon					
Localizacion: Leon						Contador : Edgard Orozco																	
Hora	Moto	Vehiculo de Pasajeros					Vehiculos de Carga								Equipo pesado			Total					
		Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	Liv de C.	C2	C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC	otros						
06-07am	3	4	1	8			1										5	15					
07-08am	1	1		9			2	1	2								6	14					
08-09am	1	5	1	8	1		3										9	28					
09-10am	3	9	3	14			2		2								5	37					
10-11am	6	5	1	12	2	1	2	2		1							14	35					
11-12am	5	10	2	12	1		1	3	3								5	44					
12-01pm	7	5	3	11	2		3	2	2								6	39					
01-02pm	2	8	1	11	1		2	1									13	47					
02-03pm	4	2		10			1		2								5	19					
03-04pm	3	5		8	1		3		3								6	26					
04-05pm	4	5	1	10			2		1								4	25					
05-06pm	4	4	1	11			2	2									3	23					
TOTAL	43	63	14	124	8	1	24	11	15	1	0	0	0	0	0	0	81	385					
Tabla de Resultados																							
Moto	Auto	Jeep	Camioneta	Microbus	Minibus	Bus	liviano de ca C2		C3	Tx-Sx <4	Tx-Sx >5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	VA	VC	Otros	TOTAL						
148	130	54	256	23	2	36	23	19	1	0	0			0		212	904						

” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

Tabla 30 Diagrama de Cargas Permisibles (MTI)



REPÚBLICA DE NICARAGUA  
MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA  
DIRECCIÓN GENERAL DE VIALIDAD



¡ Uniendo a Nicaragua !

**DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES**  
**PESOS MÁXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHÍCULOS**

TIPO DE VEHÍCULOS	ESQUEMAS DE VEHÍCULOS	PESO MÁXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (t) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2		5.00	10.00					15.00
C3		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

NOTA: El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.

a : Eje sencillo llanta sencilla.  
b : Eje sencillo llanta dobla.

" Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

**Tabla Nro.31 Factores Equivalentes para pavimentos flexibles, Eje Simple, PT= 2**

Appendix D

D-3

**Table D.1. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and  $p_t$  of 2.0**

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0002	0002	0002	0002	0002	0002
4	002	003	002	002	002	002
6	009	.012	011	010	009	009
8	030	035	036	033	031	029
10	075	085	090	085	079	076
12	165	177	189	183	174	168
14	325	338	354	350	338	331
16	589	598	613	612	603	596
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00
20	1 61	1 59	1 56	1 55	1 57	1 59
22	2 49	2 44	2 35	2 31	2 35	2 41
24	3 71	3 62	3 43	3 33	3 40	3 51
26	5.36	5 21	4 88	4 68	4 77	4 96
28	7 54	7 31	6 78	6 42	6 52	6 83
30	10 4	10 0	9 2	8 6	8 7	9 2
32	14 0	13 5	12 4	11 5	11 5	12 1
34	18 5	17 9	16 3	15 0	14 9	15 6
36	24 2	23 3	21 2	19 3	19 0	19 9
38	31 1	29 9	27 1	24 6	24 0	25 1
40	39 6	38 0	34 3	30 9	30 0	31 2
42	49 7	47 7	43 0	38 6	37 2	38 5
44	61 8	59 3	53 4	47 6	45 7	47 1
46	76 1	73 0	65 6	58 3	55 7	57 0
48	92 9	89 1	80 0	70 9	67 3	68 6
50	113	108	97	86	81	82

Fuente: AASHTO 93.

# ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal’s) de la Carretera León –Poneloya”.

**Tabla Nro.32 Factores Equivalentes para pavimentos flexibles, Eje Tándem, PT= 2**

D-4

Design of Pavement Structures

**Table D.2. Axle Load Equivalency Factors For Flexible Pavements, Tandem Axles and p<sub>t</sub> of 2.0**

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0000	0000	0000	0000	0000	0000
4	0003	0003	0003	0002	0002	0002
6	001	001	001	001	001	001
8	003	003	003	003	003	002
10	007	008	008	007	006	006
12	013	016	016	014	013	012
14	024	029	029	026	024	023
16	041	048	050	046	042	040
18	066	077	081	075	069	066
20	103	117	124	117	109	105
22	156	171	183	174	164	158
24	227	244	260	252	239	231
26	322	340	360	353	338	329
28	447	465	487	481	466	455
30	607	623	646	643	627	617
32	810	823	843	842	829	819
34	1 06	1 07	1 08	1 08	1 08	1 07
36	1 38	1 38	1 38	1 38	1 38	1 38
38	1 76	1 75	1 73	1 72	1 73	1 74
40	2 22	2 19	2 15	2 13	2 16	2 18
42	2 77	2 73	2 64	2 62	2 66	2 70
44	3 42	3 36	3 23	3 18	3 24	3 31
46	4 20	4 11	3 92	3 83	3 91	4 02
48	5 10	4 98	4 72	4 58	4 68	4 83
50	6 15	5 99	5 64	5 44	5 56	5 77
52	7 37	7 16	6 71	6 43	6 56	6 83
54	8 77	8 51	7 93	7 55	7 69	8 03
56	10 4	10 1	9 3	8 8	9 0	9 4
58	12 2	11 8	10 9	10 3	10 4	10 9
60	14 3	13 8	12 7	11 9	12 0	12 6
62	16 6	16 0	14 7	13 7	13 8	14 5
64	19 3	18 6	17 0	15 8	15 8	16 6
66	22 2	21 4	19 6	18 0	18 0	18 9
68	25 5	24 6	22 4	20 6	20 5	21 5
70	29 2	28 1	25 6	23 4	23 2	24 3
72	33 3	32 0	29 1	26 5	26 2	27 4
74	37 8	36 4	33 0	30 0	29 4	30 8
76	42 8	41 2	37 3	33 8	33 1	34 5
78	48 4	46 5	42 0	38 0	37 0	38 6
80	54 4	52 3	47 2	42 5	41 3	43 0
82	61 1	58 7	52 9	47 6	46 0	47 8
84	68 4	65 7	59 2	53 0	51 2	53 0
86	76 3	73 3	66 0	59 0	56 8	58 6
88	85 0	81 6	73 4	65 5	62 8	64 7
90	94 4	90 6	81 5	72 6	69 4	71 3

Fuente: AASHTO 93.

" Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya".

**Tabla Nro.33 Factores Equivalentes para pavimentos flexibles, Eje Tridem, PT= 2**

Appendix D

D-5

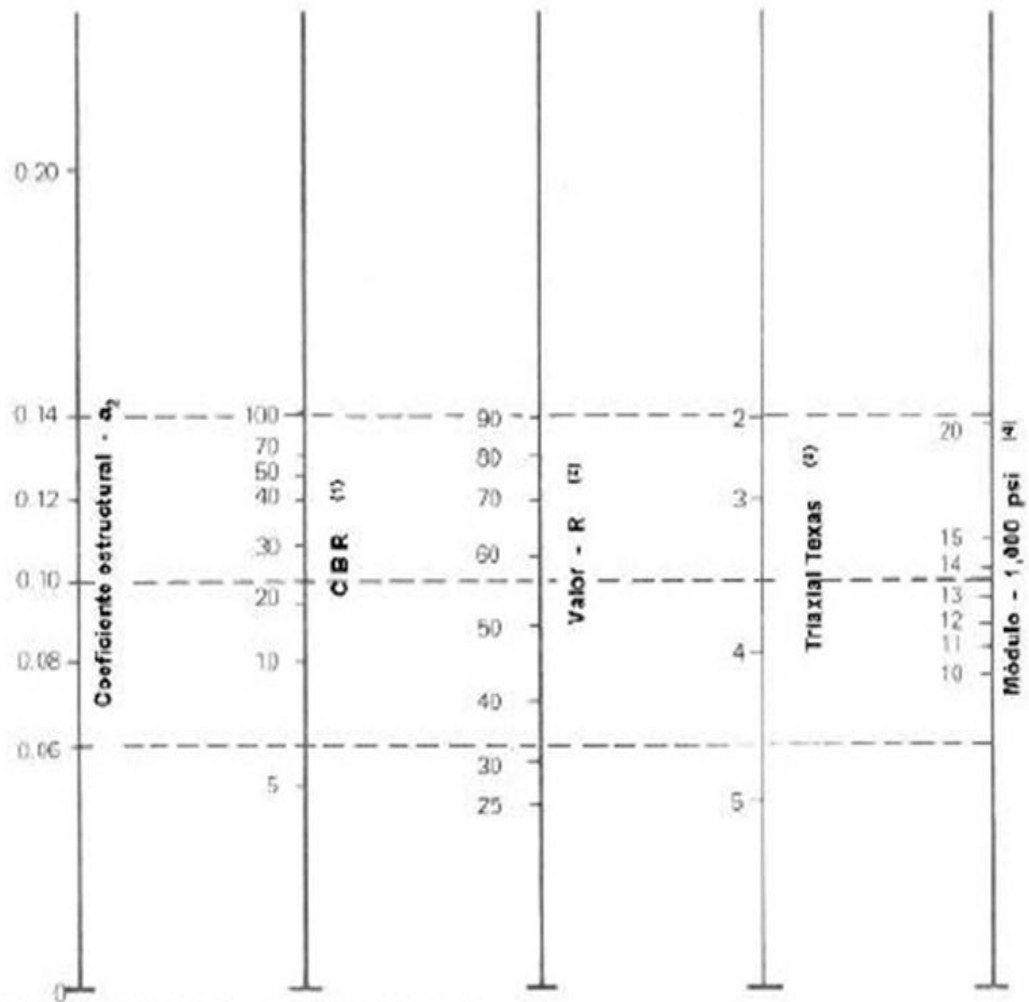
**Table D.3. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Triple Axles and  $p_t$  of 2.0**

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0000	0000	0000	0000	0000	0000
4	0001	0001	0001	0001	0001	0001
6	0004	0004	0003	0003	0003	0003
8	0009	0010	0009	0008	0007	0007
10	002	002	002	002	002	001
12	004	004	004	003	003	003
14	006	007	007	006	006	005
16	010	012	012	010	009	009
18	016	019	019	017	015	015
20	024	029	029	026	024	023
22	034	042	042	038	035	034
24	049	058	060	055	051	048
26	068	080	083	077	071	068
28	093	107	113	105	098	094
30	125	140	149	140	131	126
32	164	182	194	184	173	167
34	213	233	248	238	225	217
36	273	294	313	303	288	279
38	346	368	390	381	364	353
40	434	456	481	473	454	443
42	538	560	587	580	561	548
44	662	682	710	705	686	673
46	807	825	852	849	831	818
48	976	992	1 015	1 014	999	987
50	1 17	1 18	1 20	1 20	1 19	1 18
52	1 40	1 40	1 42	1 42	1 41	1 40
54	1 66	1 66	1 66	1 66	1 66	1 66
56	1 95	1 95	1 93	1 93	1 94	1 94
58	2 29	2 27	2 24	2 23	2 25	2 27
60	2 67	2 64	2 59	2 57	2 60	2 63
62	3 10	3 06	2 98	2 95	2 99	3 04
64	3 59	3 53	3 41	3 37	3 42	3 49
66	4 13	4 05	3 89	3 83	3 90	3 99
68	4 73	4 63	4 43	4 34	4 42	4 54
70	5 40	5 28	5 03	4 90	5 00	5 15
72	6 15	6 00	5 68	5 52	5 63	5 82
74	6 97	6 79	6 41	6 20	6 33	6 56
76	7 88	7 67	7 21	6 94	7 08	7 36
78	8 88	8 63	8 09	7 75	7 90	8 23
80	9 98	9 69	9 05	8 63	8 79	9 18
82	11 2	10 8	10 1	9 6	9 8	10 2
84	12 5	12 1	11 2	10 6	10 8	11 3
86	13 9	13 5	12 5	11 8	11 9	12 5
88	15 5	15 0	13 8	13 0	13 2	13 8
90	17 2	16 6	15 3	14 3	14 5	15 2

Fuente: AASHTO 93.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

**Gráfica Nro. 11 Variación del Coeficiente Estructural de la Capa Sub Base.**



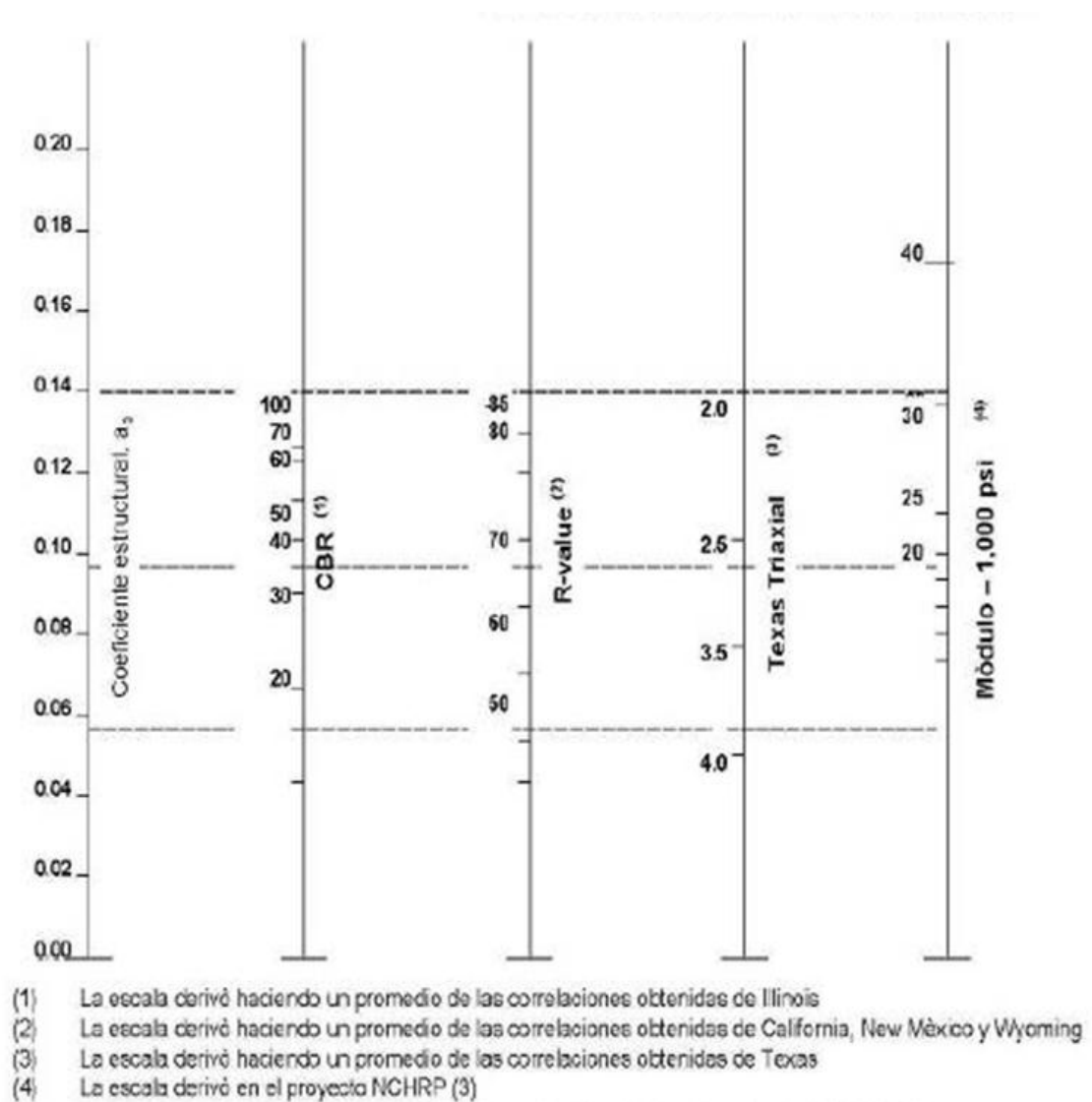
- (1) Escala derivada de las correlaciones de Illinois  
 (2) Escala derivada de las correlaciones obtenidas del Instituto del Asfalto, California, New México y Wyoming  
 (3) Escala derivada de las correlaciones de Texas  
 (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento. AASHTO, 1993.



## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

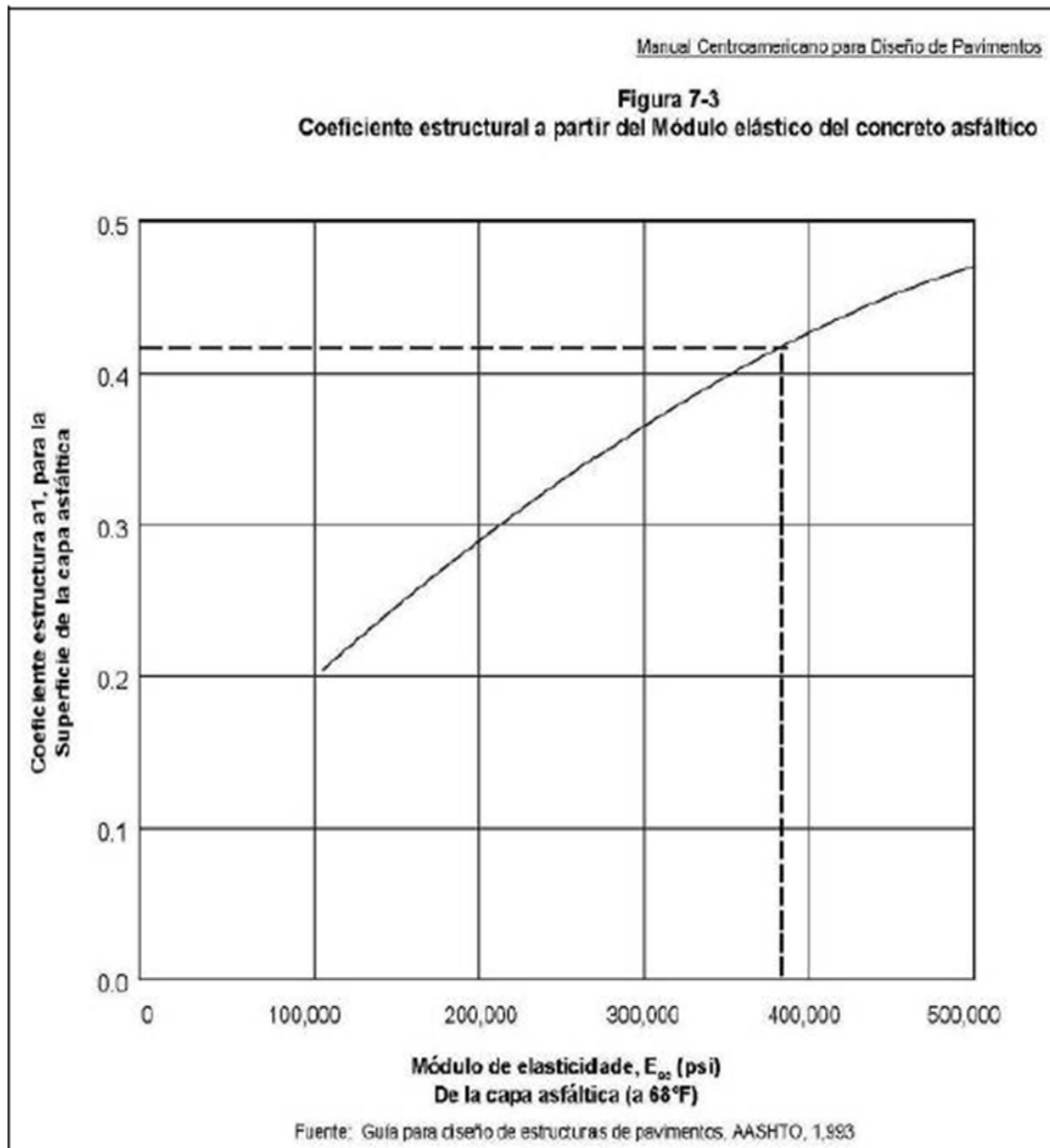
**Gráfica Nro.12 Variación del Coeficiente Estructural de la Base.**



Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento. AASHTO, 1993.

” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

Gráfica Nro.13 Coeficiente Estructural para el modulo Elástico del Concreto Asfáltico.



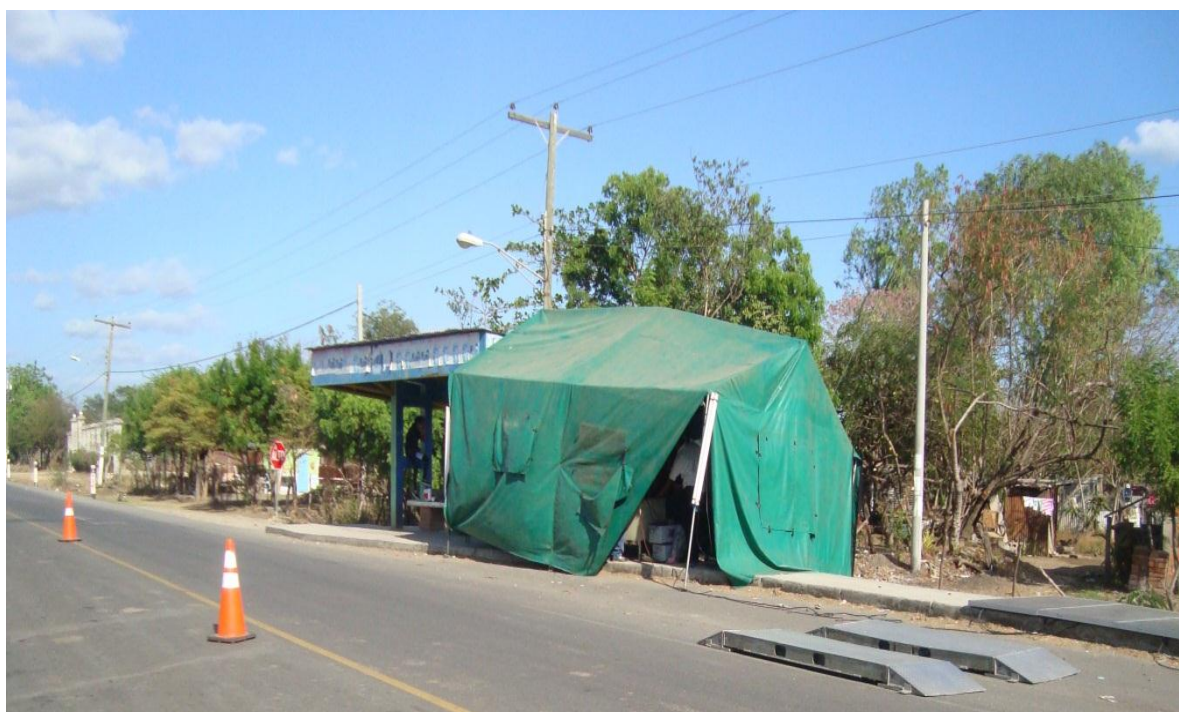
Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento. AASHTO, 1993.

## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---



Báscula móvil utilizada para el pesaje.



Caseta de control de datos.



## ” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---



Medidor de Pesos Equivalentes.



Pesaje de Vehículo Tipo Bus.

” Determinación de los Factores Equivalentes de Carga y Cálculo de los Ejes Equivalentes de Carga (Esal's) de la Carretera León –Poneloya”.

---



Pesaje de un Vehículo Liviano de Carga.